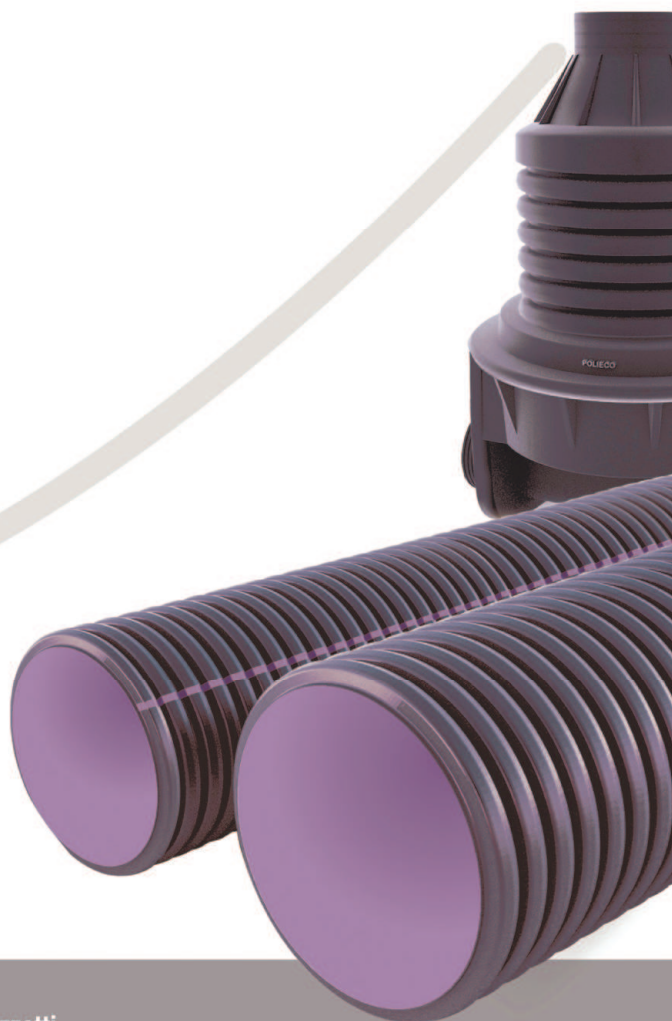
CERTIFICATI D'AZIENDA/COMPANY CERTIFICATION

CERTIFICATI DI PRODOTTO/PRODUCT CERTIFICATION

Manuale Tecnico 2010

Ecopal®

I materiali - Il prodotto - Normativa
Calcoli idraulici e statici - Pezzi speciali e pozzetti
Utilizzo e installazione

INDUSTRIE POLIECO-M.P.B. s.r.l.

Il tubo corrugato per reti fognarie e drenaggi non in pressione

INDUSTRIE POLIECO-MPB s.r.l.
VIA E. MATTEI, 49
25046 - Cazzago San Martino (BRESCIA - ITALY)
Tel.++39 030 7758911
Fax ++39 030 7750845
e-mail: info@polieco.com
http: www.polieco.com

Nel 1995 POLIECO ha acquisito le attrezzature e le tecnologie per produrre per la prima volta in Italia:

il tubo corrugato in polietilene ad alta densità per reti fognarie non in pressione. Negli anni successivi sono nate con le stesse finalità POLIECO FRANCE (1999), POLIECO ESPAÑA (1999), POLIECO HELLAS (2008) e POLIECO SLOVAKIA (2008).

Nel corso degli anni, Polieco ha cercato di sviluppare un sistema completo in materiale plastico sicuro ed efficace che potesse soddisfare le richieste dei progettisti e le esigenze delle imprese installatrici. In quest'ottica sono state presentate al mercato europeo le seguenti soluzioni:

- pozzetti e pezzi speciali in polietilene da abbinare alle tubazioni corrugate;
- tubazioni di classe SN 16 in polipropilene ad alto modulo elastico;
- guarnizione idroespandente "no loss";
- tubazioni in polietilene con anima in acciaio a partire dal diametro DN/ID 1200, prodotte dalla nostra consociata Palbox Industriale.

POLIECO lavora in conformità alla certificazione UNI EN ISO 9001:2008. Nel mese di dicembre 2005, POLIECO ha ottenuto il certificato di conformità relativo al Sistema di Gestione Ambientale in riferimento alla norma UNI EN ISO 14001:2004. Per quanto riguarda i marchi di prodotto, il tubo Ecopal® ha ottenuto nel 1996, primo in Italia, il marchio $P_{IIP/a}$ rilasciato dall'Istituto Italiano dei Plastici, sulla base della norma UNI EN 13476. Dal 2000 inoltre il marchio dell'Istituto Italiano Plastici è stato esteso anche al sistema di giunzione costituito dal manicotto e dalla guarnizione, garantendo in questo modo la qualità e la tenuta idraulica dell'intero sistema. Negli anni successivi il tubo Ecopal® ha ottenuto le certificazioni dei più importanti Istituti di Certificazione a livello europeo (marchio francese CSTBat, marchio tedesco MPA-DA, marchio spagnolo AENOR, marchio olandese KIWA, marchio austriaco ONORM, marchio slovacco TSUS, marchio ceco ITC e marchio greco ELOT).

Il presente manuale tecnico, destinato a progettisti ed utilizzatori pubblici e privati, fornisce i dati relativi al prodotto ed i metodi di calcolo necessari per un corretto utilizzo del tubo Ecopal®. Inoltre POLIECO mette a disposizione un software di calcolo, Ecocalc, che permette la verifica idraulica e statica delle tubazioni Ecopal®.

La presente edizione si è arricchita delle esperienze acquisite negli ultimi 15 anni nei cantieri di tutta Europa. Cogliamo l'occasione per ringraziare tutti quei progettisti che hanno creduto in questo nuovo sistema, prescrivendolo nei loro capitolati. Ringraziamo inoltre le innumerevoli imprese che hanno contribuito con le loro osservazioni ed esperienze al miglioramento del sistema Ecopal®.

Nell'augurarVi una buona lettura, Vi preghiamo di farci pervenire eventuali commenti ed osservazioni, che verranno tenuti in debito conto per le prossime edizioni.

Cazzago San Martino, Marzo 2010

CAPITOLO 1. GENERALITÁ

1. 1 – RETI FOGNARIE

Tutte le tubazioni, fornite da produttori affidabili ed installate con la dovuta attenzione, possono fornire risultati tecnicamente soddisfacenti. Più che entrare quindi nel merito dell'impiego dei vari materiali, è utile evidenziare quei concetti che tutti i progettisti e gli utenti dovrebbero tenere ben presenti quando si parla di reti fognarie.

Tra i requisiti principali richiesti alle tubazioni per fognatura si possono annoverare:

- buone caratteristiche idrauliche a breve e lungo termine;
- adeguata resistenza alla pressione interna, anche in caso di temporanee sovrapressioni;
- buona resistenza ai carichi esterni;
- perfetta tenuta bidirezionale delle giunzioni a breve e lungo termine;
- resistenza ottimale alle aggressioni chimiche ed elettrochimiche;
- resistenza alla abrasione;
- ridotta aderenza delle incrostazioni;
- facilità di pulizia con le moderne tecniche;
- facilità e rapidità di assemblaggio e di posa;
- costo concorrenziale.

I concetti sopra esposti si prestano ad alcune precisazioni:

- la rispondenza di ciascun materiale ai requisiti di progetto va verificata su basi realistiche ed omogenee; ciò deve essere valido in particolare per le caratteristiche idrauliche (diametro interno e valore della scabrezza assoluta);
- la resistenza alle aggressioni chimiche, elettrochimiche ed all'abrasione va verificata in funzione delle caratteristiche delle acque di scarico;
- la resistenza alla pressione interna e la garanzia di una perfetta tenuta, anche a lungo termine, vanno riferite a tutte le tubazioni ma in particolare ai tubi con giunti a bicchiere, il cui elemento chiave è la lunghezza del bicchiere stesso e le caratteristiche della guarnizione;
- la tenuta deve essere bidirezionale: molti problemi in fognature esistenti, che si ripercuotono sugli impianti di trattamento, sono dati dall'ingresso di acqua di falda o dalle perdite attraverso i giunti;
- i sistemi di pulizia ad alta pressione o con mezzi meccanici possono avere effetti dannosi su alcuni materiali, causando il disassamento di alcuni tipi di giunti o addirittura la rottura della parete interna del tubo.
- relativamente al costo è doveroso evidenziare che più che confrontare il costo del solo tubo, va considerato il costo onnicomprensivo della rete fognaria, inclusi i costi di posa in opera ed i prevedibili oneri di manutenzione in funzione del ciclo di vita della tubazione.

Il tubo *Ecopal*® presenta caratteristiche ottimali per tutti gli aspetti sopra menzionati.

1. 2 – TUBAZIONI IN MATERIALE PLASTICO

Il primo materiale plastico a trovare impiego nel campo delle reti fognarie e dei drenaggi è stato il PVC (polivinilcloruro), data la facilità di posa ed il costo concorrenziale. Mentre il PP (polipropilene) è sempre rimasto confinato ad un uso specialistico (in particolare in presenza di alte temperature ed in campo industriale), il PEAD (polietilene ad alta densità), in esecuzione estrusa a parete piena, ha trovato un impiego discontinuo, dati i costi elevati.

Durante gli anni '80 sono stati proposti, con buon successo, i primi tubi strutturati in PEAD con diametri fino a 3,6 m. Il concetto che ha portato alla loro produzione è stato quello di poter abbinare ai vantaggi intrinseci del polietilene (ottima resistenza alle acque reflue sempre più aggressive) altre importanti caratteristiche quali la leggerezza, l'elevata rigidezza circonferenziale ed il costo concorrenziale. Sono nati così i vari tubi Bauku, Henze, KWH, prodotti con tecnologie brevettate e tuttora disponibili nelle ultime versioni. Successivamente, anche in relazione allo sviluppo di nuove licenze, sono state studiate le più diverse tipologie di parete che hanno portato, tra le altre, alla produzione del tubo *Ecopal*®.

Le tubazioni strutturate in materiale plastico presentano una serie di caratteristiche (ottima resistenza all'aggressione da parte delle acque convogliate, ottima resistenza alle sollecitazioni di posa e d'esercizio, elevata facilità di posa, lunga vita con ridotta manutenzione ed ottimo rapporto costo/efficienza) che ne fanno, se ben utilizzate, il materiale del futuro.

1. 3 – TUBI RIGIDI E TUBI FLESSIBILI

Il primo concetto da evidenziare, quando si parla di tubazioni per reti fognarie, è la distinzione tra tubi rigidi e tubi flessibili.

Si definiscono rigidi i tubi la cui sezione circonferenziale non può subire deformazioni orizzontali o verticali senza che il tubo venga danneggiato. L'associazione AWWA (*American Water Works Association*) classifica come rigidi i tubi in cui una deformazione dello 0,1% può causare danni e come semirigidi quelli che accettano una deformazione fino al 3%. Sono rigidi i tubi costituiti da cemento, fibrocemento, ghisa, grès.

Sono definiti invece flessibili, i tubi in cui la sollecitazione esterna può causare una deformazione della sezione circonferenziale (secondo l'AWWA > 3%) senza causare danni. Sono flessibili i tubi realizzati in materiale plastico. La deformazione, a breve o lungo termine, può raggiungere valori anche elevati senza che il tubo presenti danni alla struttura o sintomi di collasso, ma non compatibili con il corretto funzionamento idraulico della canalizzazione.

Il parametro che caratterizza i tubi flessibili è la rigidezza circonferenziale, funzione sia dei dati geometrici (momento d'inerzia di parete) sia delle caratteristiche del materiale (modulo di elasticità). Tale dato viene calcolato geometricamente per i tubi a parete piena e tramite prove sperimentali nel caso di tubo a parete strutturata o tubo prodotto con materiali compositi.

Nel caso di tubi a parete piena, la rigidezza circonferenziale (SN) può essere calcolata mediante la formula che lega il modulo elastico (E) del materiale con cui è fatto il tubo, il momento d'inerzia (I) ed il diametro medio del tubo (Dm) mediante la formula:

$$SN = E \cdot \frac{I}{D_m^3} \quad \text{in Pa}$$

ove:
E = modulo elastico del materiale, in Pa
D_m = diametro medio del tubo, in m
I = momento d'inerzia, in m^4/m

Nella valutazione del concetto di "flessibilità", il modulo di elasticità del materiale riveste una particolare importanza. L'ordine di grandezza del modulo di elasticità (E) nei tubi rigidi è superiore rispetto a quello nei tubi flessibili; si ha per esempio:

- ✓ fibrocemento $2{,}5 \cdot 10^4$ MPa
- ✓ calcestruzzo $3{,}0 \cdot 10^4$ MPa
- ✓ grès $5{,}0 \cdot 10^4$ Mpa
- ✓ ghisa $10{,}0 \cdot 10^4$ Mpa
- ✓ ghisa duttile $17{,}0 \cdot 10^4$ MPa
- ✓ PVC $3{,}6 \cdot 10^3$ Mpa
- ✓ PP $1{,}4 \cdot 10^3$ MPa
- ✓ PEAD $1{,}0 \cdot 10^3$ MPa

Occorre considerare che in molti casi un alto valore del modulo elastico significa "fragilità" se il materiale non prevede in parallelo valori elevati di resistenza all'urto, quali quelli presentati dal polietilene.

Il secondo termine che influenza la rigidezza è il momento di inerzia di parete (I). Per ottenere una adeguata rigidezza circonferenziale per le tubazioni con bassi valori del modulo elastico occorre quindi intervenire sul momento d'inerzia di parete del tubo, $I = s^3/12$, e quindi sullo spessore reale o "apparente" (meglio definito come spessore "equivalente"). Per evitare spessori rilevanti e quindi alti pesi e costi elevati, si può ottenere l'aumento del momento di inerzia grazie alla presenza della costolatura.

La rigidezza circonferenziale nei tubi strutturati viene determinata sperimentalmente usando il metodo riportato nella norma UNI EN ISO 9969 mediante la formula:

$$SN = \left(0{,}0186 + 0{,}025 \frac{y}{Di}\right) \frac{F}{L \cdot y} \quad \text{in Pa}$$

ove:
F = forza necessaria per ottenere la deformazione voluta, in N
L = lunghezza del campione di tubo, in m
y = flessione del diametro del tubo, in m

I tubi plastici soggetti ad un carico costante si deformano nel tempo a causa della loro viscoelasticità. Questo fenomeno viene definito scorrimento plastico o deformazione viscosa,

comunemente noto con il vocabolo inglese "*creep*". Il rapporto tensione/deformazione viscosa viene detto "*creep modulus*", da non confondersi con il modulo elastico del materiale.

Tenendo conto che per i tubi strutturati non è facile calcolare il momento di inerzia anche con un modulo di elasticità funzione della deformazione viscosa si è preferito determinare il comportamento a lungo termine in via sperimentale. A questo fine la rigidità circonferenziale a lungo termine viene ricavata dividendo la rigidità circonferenziale per il creep modulus estrapolato ad un certo tempo indicato dalla norma di riferimento.

I tempi sono scelti tenendo conto che, una volta installato, il tubo subisce una deformazione istantanea per poi deformarsi lentamente per un certo tempo. Questo tempo varia a seconda della condizione del suolo e delle modalità di posa ma non eccede mai i due anni: tale dato è stato adottato come tempo di estrapolazione.

1. 4 – INTERAZIONE TUBO-TERRENO

Qualsiasi tubazione posata in scavo o in terrapieno è soggetta a carichi esterni, dovuti al peso del materiale di ricoprimento, al peso degli eventuali manufatti gravanti sullo stesso, (carichi statici) ed ai carichi dinamici, causati dal passaggio di mezzi di trasporto sulla verticale od in prossimità della condotta.

In tutte le tubazioni posate in scavo e soggette a carichi esterni si verifica un'interazione tra il tubo, il materiale di riempimento e la parete dello scavo. In termini pratici il complesso "materiale di riempimento-pareti dello scavo" si oppone alla deformazione della tubazione.

Il tipo d'analisi ed i metodi di calcolo sono diversi tra tubi rigidi e flessibili. L'assestamento del terreno attorno il tubo, come si può notare nella figura 1.1, è diverso a seconda si tratti di tubo flessibile o rigido.

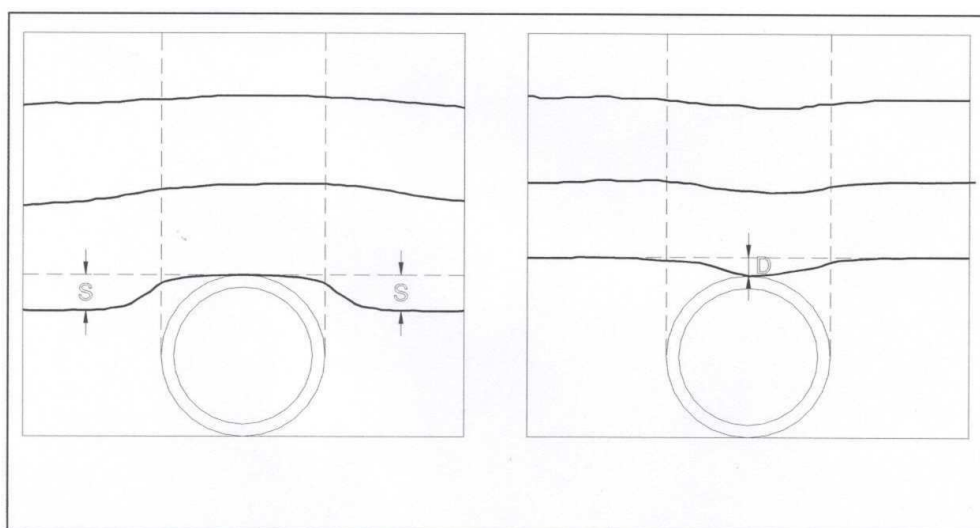



Figura 1.1: Assestamento del terreno per tubi flessibili e per tubi rigidi

Nei tubi rigidi la deformazione presenta valori assoluti trascurabili o nulli prima del raggiungimento del collasso. La controspinta del terreno si traduce solo in una diminuzione delle tensioni di parete dovuta al carico laterale del terreno stesso, assimilabile ad una spinta "idrostatica" rappresentabile con un carico triangolare.

Nei tubi flessibili la deformazione può raggiungere valori sensibili; la controspinta laterale si traduce in una limitazione della deformazione e di conseguenza il valore del carico verticale risulta inferiore. Si comprende quindi l'importanza di ottenere durante l'installazione un sufficiente contrasto attraverso una compattazione del rinfianco tale da limitare la deformazione a valori accettabili. Il comportamento della tubazione soggetta ai carichi esterni è rappresentata nella figura 1.2.

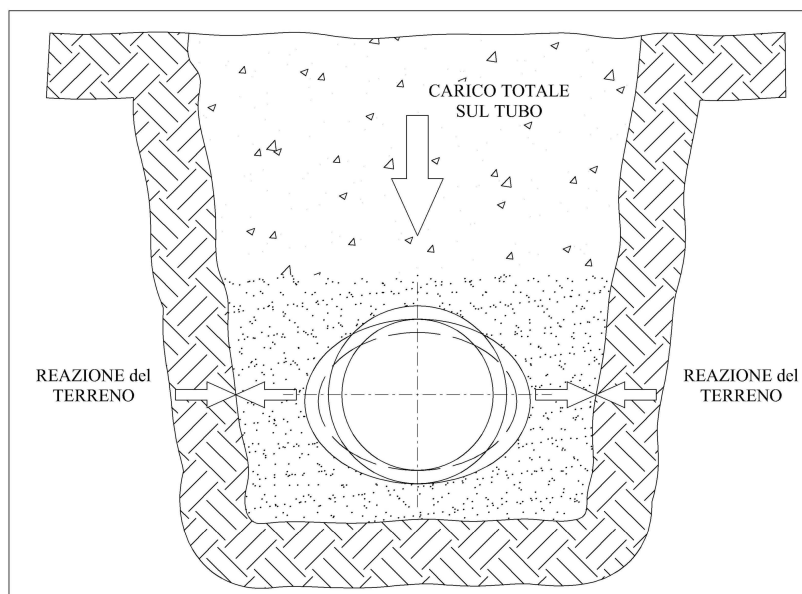



Figura 1.2: Comportamento di un tubo flessibile soggetto ai carichi esterni

Si può dedurre da questa premessa che maggiore è la "rigidezza" del materiale di riempimento e della struttura intorno alla tubazione, maggiore è la resistenza della tubazione alle sollecitazioni esterne. La reazione del complesso "riempimento - terreno" che si può definire rigidezza al contorno è da porsi in relazione al modulo di elasticità "e" del terreno di riempimento, che a sua volta dipende fortemente dal grado di compattazione, e al modulo di elasticità, inalterato, delle pareti dello scavo. Si vedrà più avanti come la rigidezza al contorno prevalga, ai fini della riduzione delle deformazioni, sulla rigidezza delle tubazioni.

In genere si utilizzano per i tubi flessibili metodi di calcolo (derivanti dagli studi di Spangler, Watkins, Barnard) che tengono conto che il valore "e" (modulo elastico o modulo di resistenza passiva del terreno di riempimento) non è costante, mentre invece risulta costante, ai fini pratici, il "modulo di deformazione" o "modulo secante" $E' = e \cdot r$ (ove r è il raggio della condotta), espresso in Pa. I valori di E' sono generalmente forniti in funzione del tipo di materiale e della percentuale di compattazione; il progettista deve operare una scelta corretta in base alle condizioni locali ed alle prescrizioni che indicherà per il riempimento.

CAPITOLO 2. I MATERIALI

2. 1 – IL POLIETILENE

Il polietilene (PE) è un materiale termoplastico ottenuto dalla polimerizzazione del monomero dell'etilene, un derivato del petrolio, in catene ad alto peso molecolare (CH_2=CH_2). Esistono diversi processi di polimerizzazione dell'etilene che si sono sviluppati negli anni a seguito di diversi tentativi di migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche del polietilene quali la resistenza alla pressione interna nel lungo periodo, la resistenza alle alte temperature e la processabilità.

Un importante parametro che permette di identificare le caratteristiche meccaniche dei diversi tipi di polietilene nel campo delle tubazioni è l'MRS (*Minimum Required Strenght*): dopo aver esaminati vari campioni a diverse temperature e pressioni per periodi fino a 1000 h, vengono costruite le curve di regressione dalle quali si estrapola l'MRS come tensione circonferenziale che assicura una durata di 50 anni a 20°C. Il valore di MRS espresso in MPa e moltiplicato per 10 definisce il tipo di polietilene: ad esempio il polietilene attualmente più diffuso nel campo delle tubazioni è il PE100 (con MRS pari a 10 MPa). Dividendo l'MRS per un coefficiente di sicurezza (normalmente pari a 1,25 per gli acquedotti) si ottiene il valore di tensione circonferenziale detta sigma di progetto.

Si ritiene utile richiamare nella tabella 2.1 la classificazione del polietilene in base alla resistenza alla pressione. La classificazione riportata nella tabella vale per tutti i polietileni utilizzati per i tubi in pressione.

Denominazione	MRS (MPa)	Resistenza a lungo termine (MPa)
PE 32	3,2	3,20 - 3,99
PE 40	4	4,00 - 4,99
PE 50	5	5,00 - 6,29
PE 63	6,3	6,30 - 7,99
PE 80	8	8,00 - 9,99
PE 100	10	10,00 - 11,19

Tabella 2.1: Classificazione del polietilene

Nella tabella 2.2 riportata nella pagina seguente sono indicate la pressione di prova, la temperatura di prova e la durata prevista della prova senza che il campione presenti alcuna rottura.

Per i tubi strutturati la prova di classificazione è eseguita su campioni di tubo a parete piena realizzati con lo stesso materiale. I valori considerati per i tubi in polietilene sono 4,0 MPa per la prova a 165 ore a 80° C e 2,8 MPa a 1000 ore a 80° C: in pratica il materiale che deve essere utilizzato per la produzione dei tubi strutturati è paragonabile ad un polietilene PE 63.

Temperatura di prova	20°C	80°C	80°C
Durata di prova	**100 h**	**165 h**	**1000 h**
PE	**MPa**	**MPa**	**MPa**
100	12,4	5,5	5,0
80	9,0	4,6	4,0
63	8,0	3,5	3,2
50	7,5	2,8	2,5
40	7,0	2,5	2,0
32	6,5	2,0	1,5

Tabella 2.2: Specifiche per la resistenza a pressione interna

2. 1. 1 – TENSIONE AMMISSIBILE E MODULO ELASTICO

Il polietilene utilizzato per la produzione del tubo *Ecopal*® presenta le ben note caratteristiche tecniche di tutte le resine termoplastiche ed in particolare dei materiali viscoelastici: il modulo di elasticità e la deformazione sotto carico sono dipendenti dalla temperatura e dal tempo.

La normativa UNI EN 13476-1 indica le seguenti ulteriori proprietà:

modulo di elasticità, E	≥ 800 MPa
densità media	≈ 940 kg/m^3
coefficiente di espansione termica lineare medio	≈ 0,17 mm/m K
conduttività termica	(0,36 ÷ 0,50) W K^{-1} m^{-1}
capacità termica	(2300 ÷ 2900) J kg^{-1} K^{-1}
resistenza superficiale	> 10^{13} Ω
coefficiente di Poisson	0,45

2. 1. 2 – RESISTENZA ALL'AGGRESSIONE CHIMICA ED ELETTROCHIMICA

Sono ben note le caratteristiche di resistenza all'aggressione chimica del polietilene. La caratteristica è indicata anche nella norma UNI EN 13476-1, in cui si afferma che "*i sistemi di tubazioni conformi alla norma sono resistenti alla corrosione dell'acqua in un ampio intervallo di valori di pH come l'acqua di scarico domestica, l'acqua piovana, l'acqua superficiale e l'acqua di falda. Se i sistemi di tubazioni conformi a questa norma devono essere usati per scarichi di acque contaminate chimicamente, come gli scarichi industriali, si deve tener conto della resistenza chimica e della temperatura*".

Per informazioni relative alla resistenza chimica del polietilene si può fare riferimento a quanto scritto all'interno della norma ISO/TR 10358. Nelle ultime pagine del presente manuale viene riportata la resistenza del polietilene ad una temperatura di 20° C e 60° C nei confronti delle più comuni sostanze chimiche presenti all'interno dei reflui fognari.

Il polietilene inoltre non subisce alcuna aggressione elettrochimica, dal momento che è elettricamente inerte.

Un argomento che spesso si presenta è la resistenza dei prodotti in polietilene all'aggressione biologica. Mentre l'attacco biochimico costituito da muffe o enzimi e quello da parte d'insetti può essere ritenuto inesistente, non è chiaro se l'attacco da parte di roditori, talpe o ratti, risulti realmente un pericolo. A nostra conoscenza non risulta alcun caso provato, mentre sono state trovate alcune tracce di incisioni di denti su vecchi tubi costituiti di PVC stabilizzato con il piombo.

In pratica, si può affermare che il tubo in polietilene non viene aggredito dall'ambiente e, a sua volta, non cede sostanze dannose per l'ambiente stesso.

2. 1. 3 – RESISTENZA ALL'ABRASIONE

Il fenomeno dell'abrasione od erosione dei vari materiali è stato nel corso degli ultimi decenni oggetto di studio e di dibattito al fine di valutare sia il meccanismo dello stesso sia gli effetti e la durata nel tempo dei materiali soggetti a fluido contenente materiale abrasivo. Riguardo al fenomeno, evidente sia nelle fognature bianche sia in quelle nere, si è tentato di valutarne gli effetti attraverso prove pratiche relative a due parametri di controllo: la quantità di materiale abraso in un dato tempo o il tempo necessario a "forare" il tubo prodotto con un certo materiale. Sono disponibili in letteratura sia dati di prova sia dati reali, ma in genere per la variabilità dei parametri del fenomeno (tipo e materiale del particolato e relativa velocità di sedimentazione, velocità di flusso, pendenza, presenza o meno di camerette, parametri meccanici e scabrezza iniziale della superficie interna del tubo, ecc.) è difficile raggiungere conclusioni univoche.

Le modalità d'abrasione si possono classificare come:

- penetrazione: la particella "*incide*" il materiale e successivamente si libera lasciando una cavità nel materiale del tubo;
- aratura: la particella crea un solco, accumulando di fronte o di lato il materiale che poi viene rimosso;
- taglio: la particella agisce come un utensile tagliente che rimuove particelle di materiale;
- frattura: la particella crea una rottura degli strati superficiali.

L'abrasione si verifica soprattutto nella parte inferiore del tubo, ma turbolenze localizzate possono estenderla a tutta la parete; tale fenomeno avviene per attrito, sfregamento, rotolamento, taglio (sia per trascinamento sia per turbolenza) o per urto ed è tanto più accentuato quanto più la particella è dura ed irregolare.

Nel campo delle fognature solo le tubazioni in grès devono sottostare a prove di abrasione sulla base della norma EN 476 poiché le eventuali imperfezioni della superficie vetrificata possono innescare abrasioni localizzate. La stessa normativa relativa ai tubi strutturati (UNI EN 13476-1) specifica che "*tubi e pezzi speciali conformi a tale normativa sono resistenti all'abrasione*". Per quanto concerne il polietilene, si può affermare che, a parità di condizioni, esso presenta migliori caratteristiche di resistenza all'abrasione rispetto ad altri materiali. Quanto detto è stato evidenziato con prove specifiche, condotte in particolare presso l'Istituto per le Materie Plastiche di Darmstadt. Un'indicazione si trova nei risultati delle prove intese a determinare i tempi necessari alla rimozione di pari quantità di materiale dalla

parete interna per diversi tipi di tubo, a parità di condizioni (sabbia in acqua, rapporto 15/85%, velocità 10 m/s):

cemento:	20 ore
acciaio:	34 ore
PVC:	50 ore
grès:	60 ore
PE:	100 ore

POLIECO, per verificare quanto sopra esposto, ha voluto eseguire una prova di abrasione presso l'Istituto di Darmstadt (D). Nel seguito viene riportato un estratto del metodo utilizzato dall'Istituto, estratto dalla norma tedesca DIN 19566-2.

METODO DI PROVA ESTRATTO DALLA DIN 19566-2

La resistenza all'abrasione deve essere provata in base al punto 5.2.
Dopo 100.000 cicli, la profondità d'abrasione *"a"* non deve superare 1/3 dello spessore interno di parete del tubo "s_{i-min}". Una metà longitudinale di tubo della lunghezza di 1000 mm viene chiusa frontalmente con piastre, riempita con una miscela di acqua, sabbia e graniglia e coperta con un'altra piastra. Questo semi tubo viene inclinato alternativamente in direzione longitudinale di ±22,5° in modo tale che il movimento del materiale di controllo produca l'effetto di abrasione che deve essere controllato.

Come materiale abrasivo si deve usare graniglia di quarzo naturale, non rotta, a granuli rotondi e con curva granulometrica che soddisfa i seguenti requisiti:
$M = d_{50} = 6$ mm
$U = d_{80}/d_{20} = 8{,}4$ mm/4,2 mm = 2 mm
ove:
M = dimensioni medie dei grani in mm
U = grado di non uniformità
$d_{50}/d_{80}/d_{20}$ = dimensione dei grani in mm al di sotto dei quali si trova il 50/80/20% (percentuali in peso) del materiale.

Il materiale abrasivo di controllo viene messo nel campione in esame, in funzione del diametro come specificato nella tabella 2.3. Poi in esso viene aggiunta acqua, fino ad un'altezza di riempimento di 38±2 mm.

DN (mm)	**Materiale per la prova (kg)**
100	2,8
125	3,1
150	3,4
200	4,0
250	4,5
300	5,0
400	5,8
500	6,5

Tabella 2.3: Quantità di materiale abrasivo utilizzato in funzione del diametro

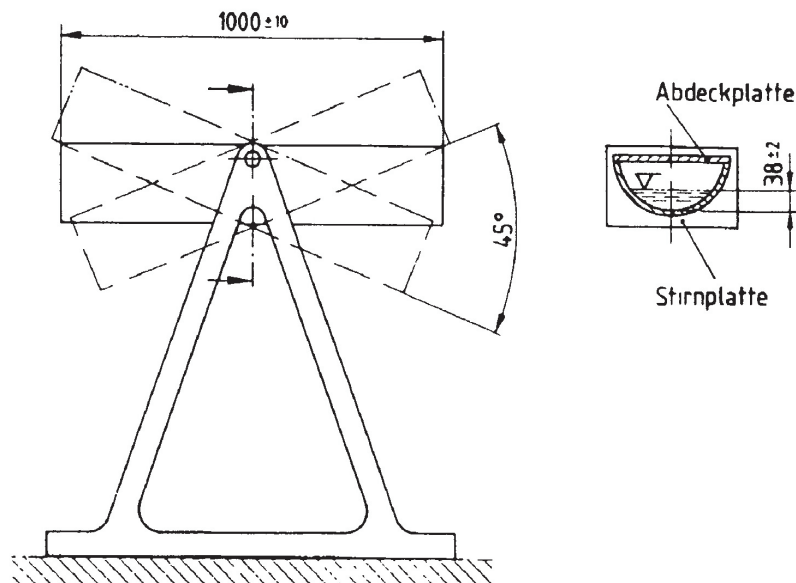



Figura 2.1: Schema di esecuzione della prova di abrasione

Il campione in esame deve essere sottoposto a 100.000 cicli (procedimento d'abrasione con scivolamento ed oscillazione). L'oscillazione deve essere sinusoidale con frequenza di circa 20 cicli/min. Al termine dei cicli predeterminati, si deve misurare lo spessore abraso rispetto alla misura di partenza. Si devono ignorare le zone terminali di 150 mm su entrambi i lati. Si prende la media "a_m" dei valori misurati dell'avvallamento nei 700 mm restanti del campione. Lo spessore "a" della linea di fondo deve essere misurato dopo 25- 50- 75- 100.000 cicli. Per determinare l'inclinazione della curva d'abrasione, a_m deve essere misurato fino a 400.000 cicli. Dopo 100.000 cicli, si deve usare del nuovo materiale d'abrasione.

Nel seguito si riporta la traduzione integrale del certificato redatto dall'Istituto di Darmstadt.

Rapporto numero: 544/98
Materiale del tubo: Polietilene ad alta densità
Diametro nominale: DN 250

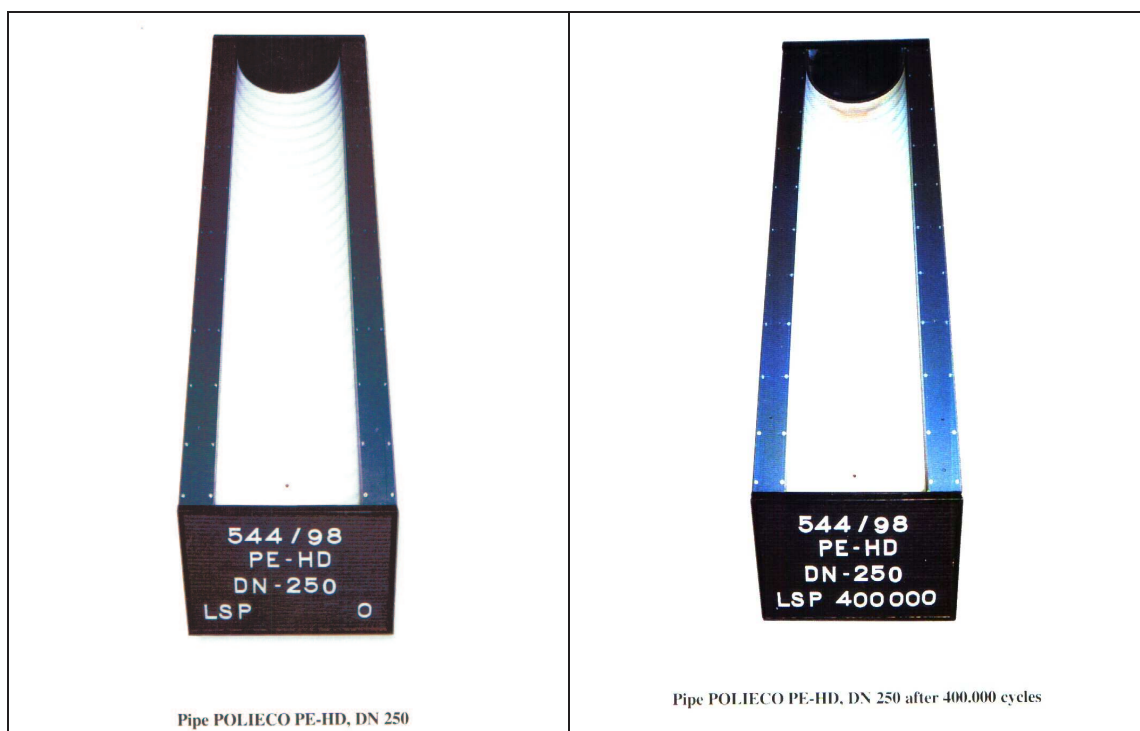
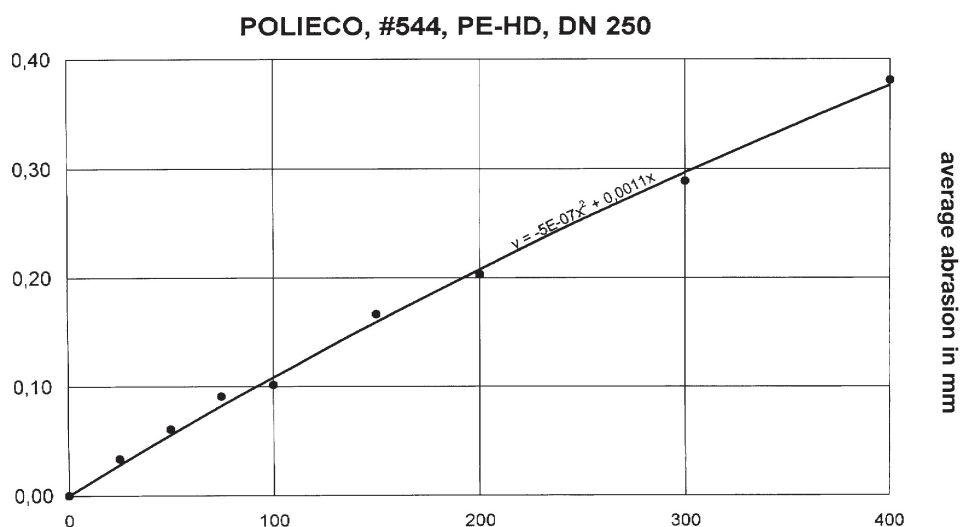
Produttore: Polieco s.r.l.
I - 25046 CAZZAGO SAN MARTINO (BS)
Via E. Mattei, 10-12-14

Il tubo sottoposto a prova è stato prodotto in polietilene ad alta densità. Il diametro del tubo è DN 250 mm.

Risultato:
Il mezzo tubo tagliato lungo il senso della lunghezza, fornitoci dalla Polieco s.r.l., è stato sottoposto a prove di abrasione di 400.000 cicli al fine di ottenere dei risultati

affidabili. Ogni prova è stata interrotta dopo 25-, 50-, 100-, 150-, 200-, 300-, e 400-mila cicli e si è proceduto alla misurazione dell'abrasione. La prova è stata condotta seguendo la norma DIN 19566, parte 2ª (appendice 1). Il metodo di prova è stato sviluppato presso il nostro laboratorio ed è ben conosciuto come il metodo di "Metodo di Darmstadt". Questo metodo corrisponde alle prove che sono richieste dai capitolati nazionali per vari tipi di tubi in plastica, ad esempio poliestere, PVC, tubi in plastica rinforzati con fibre di vetro. Le foto del tubo scattate all'inizio e al termine della prova mostrano chiaramente gli effetti dell'abrasione.

Pipe POLIECO PE-HD, DN 250

Pipe POLIECO PE-HD, DN 250 after 400.000 cycles

Il grafico riporta l'abrasione a_m, misurata durante le prove in funzione del numero dei cicli. Si può osservare che l'abrasione del tubo ha un comportamento quasi lineare rispetto al numero dei cicli.

Cicli in migliaia

Le misurazioni possono essere interpolate dalla funzione di secondo grado

$$a_m = 0{,}0011 \cdot (cicli/1000) - 5 \cdot 10^{-7} \cdot (cicli/1000)^2$$

Questa funzione indica che dopo 100.000 cicli a_m = 0,105 mm. Valori di questo tipo sono stati misurati solamente nei casi di tubi in polietilene ad alta densità di qualità molto buona.

Darmstadt, 15 Febbraio 1999

2. 1. 4 – COMPORTAMENTO IN TEMPERATURA E DILATAZIONE TERMICA

In accordo con quanto indicato nella norma EN 476, le tubazioni ed i raccordi per reti fognarie devono essere idonei a resistere alla temperatura di 45 °C per diametri fino a 200 mm e di 35°C per i diametri superiori.

Il polietilene presenta un coefficiente di dilatazione lineare pari a $1{,}7 \cdot 10^{-4}$ °C^{-1}. La variazione dimensionale sui tubi strutturati non fa parte dei requisiti di norma, se non in quanto causa di delaminazioni o screpolature. La dilatazione può tuttavia essere un fattore significativo durante l'installazione, in quanto si potrebbero creare tensioni anomale o sfilamento dei giunti, in conseguenza ad errori nel corso della stessa.

Si può affermare tuttavia che, in generale, un tubo strutturato presenta una dilatazione lineare inferiore a quella dei tubi a parete piena costituiti dallo stesso materiale. Tale affermazione si basa sul fatto che la struttura presenta valori del coefficiente di dilatazione uguali su tutta la superficie esposta, ma la dilatazione o la contrazione è contrastata parzialmente dagli elementi della struttura stessa e si sviluppa maggiormente in direzione radiale. Il tutto è supportato da alcune prove di laboratorio eseguite sulla tubazione Ecopal® e su una tubazione liscia in polietilene avente lo stesso diametro e prodotta con lo stesso materiale. I provini sono stati condizionati a -10 °C e +70 °C ed è stata confrontata la lunghezza con i valori misurati a temperatura ambiente. L'allungamento del campione di Ecopal® è risultato in media inferiore del 50% rispetto a quello del tubo a parete piena. Si può affermare che il coefficiente di dilatazione apparente del tubo Ecopal® è dell'ordine di grandezza di $1 \cdot 10^{-4}$ °C^{-1}.

Sono state inoltre condotte prove per la verifica della variazione del diametro esterno in funzione della temperatura. Per il complesso meccanismo della dilatazione longitudinale e di quella della costola, si è rilevato che, sia a -10 °C che a +70 °C, lo scostamento rispetto al valore iniziale a temperatura ambiente non supera il ±0,5 %.

2. 2 – IL POLIPROPILENE AD ALTO MODULO ELASTICO

Negli ultimi anni alcuni enti gestori italiani di reti fognarie hanno espresso ai produttori di tubazioni corrugate in polietilene il desiderio e l'esigenza di avere una tubazione, sempre

strutturata in materiale plastico, ma con caratteristiche di resistenza ai carichi superiori rispetto a quelle attualmente presenti sul mercato.

Le caratteristiche delle tubazioni corrugate in polietilene per reti fognarie non in pressione che ne hanno decretano negli ultimi 10 anni il successo sul mercato europeo (resistenza all'abrasione, resistenza agli agenti chimici, flessibilità, leggerezza, versatilità) si sono scontrate purtroppo in alcuni sporadici casi con metodologie di posa non corrette da parte delle imprese. A questo si aggiunge l'esigenza espressa da alcuni gestori di prevedere l'utilizzo di tubazioni corrugate a profondità di ricoprimento limitate (laddove maggiore è l'influenza dei carichi stradali) od elevate (laddove maggiore è l'influenza del carico del terreno). Tali esigenze si sono sposate con l'attività di ricerca e sviluppo condotta da alcuni produttori internazionali di materie prime, finalizzata alla definizione di poliolefine sempre più performanti. Oggi si ha quindi a disposizione una materia prima, il polipropilene ad alto modulo elastico (PP-HM), che presenta un modulo elastico notevolmente superiore a quello del polietilene, mantenendo le stesse caratteristiche di lavorabilità.

Il polipropilene ad alto modulo elastico rispetto al polietilene ad alta densità presenta le seguenti caratteristiche:

- peso specifico inferiore;
- comportamento leggermente migliore alle alte temperature e leggermente peggiore alle basse temperature;
- analogo comportamento nei confronti dei fenomeni di abrasione e di resistenza alle sostanze chimiche;
- modulo elastico a breve e lungo termine superiore.

Il modulo elastico del materiale influenza direttamente la rigidezza della tubazione e quindi la resistenza ai carichi verticali. Di conseguenza, a parità di spessori, un materiale con modulo elastico superiore presenta una migliore resistenza ai carichi. Nel caso del polipropilene ad alto modulo elastico (PP-HM) utilizzato da Polieco si possono ottenere a parità di peso incrementi della classe di resistenza superiori al 65% rispetto ad una analoga tubazione in polietilene ad alta densità; tutto ciò permette di produrre tubazioni con classe di resistenza superiore a SN 8. I vantaggi che possono apportare l'utilizzo di una tubazione SN 16 in polipropilene ad alto modulo elastico rispetto ad una tubazione SN 4 e SN 8 in polietilene ad alta densità può essere visualizzato nella figura 2.2.

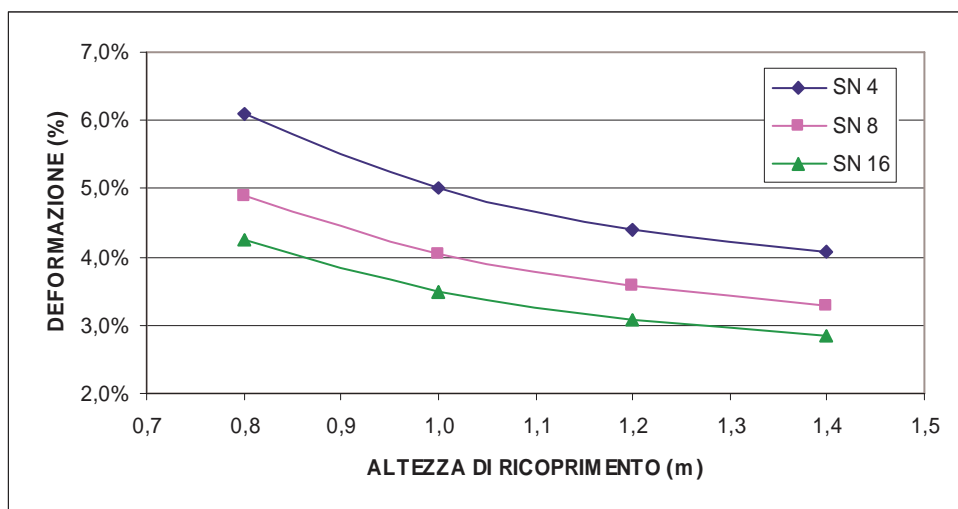



Figura 2.2: Deformazione tubazione in funzione della classe di resistenza

In questo caso è stata considerata un tubazione DN/ID 500 mm posata con le seguenti caratteristiche:

- diverse profondità di posa;
- presenza di traffico pesante;
- larghezza di scavo pari a 1,1 m;
- terreno di riempimento: G2;
- terreno di fondamenta G4.

Grazie all'uso della tubazione *Ecopal* SN 16 è possibile diminuire la deformazione della tubazione di quasi un punto percentuale rispetto ad una tubazione di classe SN 8. Questo permette di avere maggiori garanzie contro i fenomeni di ovalizzazione, che si possono verificare in cantiere dopo la posa, se questa non viene eseguita a regola d'arte come prescritto dalle norme per la posa delle tubazioni in materiale plastico. Si deve in ogni caso sottolineare come le modalità di posa (tipologia del materiale di interramento e modalità di interramento) di una tubazione SN 16 deve rispecchiare quelle considerate per una tubazione di classe SN 4 o SN 8.

Per avere un'idea delle potenzialità, un tubo corrugato DN/ID 300 SN 16 in polipropilene ad alto modulo elastico presenta la stessa resistenza ai carichi di un tubo liscio in polietilene DN/OD 315 PE100 SDR 18 (spessore 17 mm). Dal punto di vista normativo, la classe SN 16 rientra nel range di classi possibili previste dalla normativa di riferimento sui tubi strutturati in materiale plastico (UNI EN 13476); di conseguenza le tubazioni vengono sottoposte alle stesse prove previste per le tubazioni in polietilene di classe SN 4 e SN 8.

Dal punto di vista dimensionale, il diametro esterno ed il diametro interno delle tubazioni rispecchiano quelli già presenti nei tubi *Ecopal* SN 4 e SN 8 in polietilene. Per queste ragioni si possono utilizzare per il collegamento delle tubazioni gli stessi manicotti e guarnizioni.

CAPITOLO 3. IL PRODOTTO

3. 1 – IL PROFILO

Il profilo del tubo *Ecopal*® è un profilo rientrante nel tipo B previsto dalla norma UNI EN 13476-3, cioè un "tubo con superficie interna liscia e una costola a spirale solida o cava o anulare".

La produzione del tubo *Ecopal*® deriva dallo sviluppo delle attrezzature di produzione per un particolare tipo di parete strutturata studiato e sviluppato in Germania: il profilo presenta una sommità semicircolare, studiata appositamente per ottimizzare la resistenza ai carichi. Il particolare del profilo è rappresentato in figura 3.1.

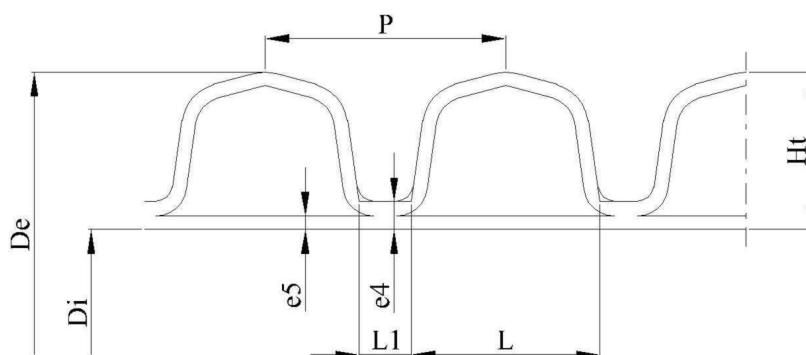



Figura 3.1: Profilo della tubazione corrugata Ecopal®

ove :
D_e : diametro esterno
D_i : diametro interno, maggiore di quello minimo di norma
e_5 : spessore della parete interna
e_4 : spessore di saldatura
P : passo della corrugazione
L : larghezza della corrugazione
L1 : spazio tra le corrugazioni
Ht: : altezza di corrugazione

I valori di D_i, H_t, P, L, L1, pur ricadendo nei limiti di normalizzazione, derivano da una scelta del produttore in funzione della rigidezza circonferenziale prevista.

La caratteristica struttura ad onda della parte superiore della corrugazione, tipica dei diametri a partire dal DN/OD 250 mm, offre la possibilità di modificare la rigidezza circonferenziale da SN 4 a SN 8 kN/m^2 agendo prevalentemente sullo spessore della corrugazione. Per i diametri inferiori a DN/OD 250 mm le caratteristiche della sezione sono leggermente diverse dal momento che il passo diventa troppo limitato per una struttura complessa e lo spessore delle pareti non può essere ridotto eccessivamente.

La normativa UNI EN 13476 prevede la possibilità di produrre tubazioni normalizzate sul diametro esterno (serie DN/OD) o sul diametro interno (serie DN/ID). A partire dal 2003, Polieco ha affiancato alla produzione normalizzata sui diametri esterni (da DN/OD 160 a DN/OD 1200), la produzione normalizzata sui diametri interni (da DN/ID 300 a DN/ID 800).

3. 2 – CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

Nella tabella 3.1 sono riportati alcuni dati relativi alle dimensioni di tubazioni appartenenti alla classe SN = 4 kPa, il prodotto più richiesto sul mercato italiano. I dati indicati garantiscono un valore di SN maggiore di 4 kPa.

DN/OD (mm)	D_i (mm)	H_t (mm)	P (mm)
200	176	12,0	16,5
250	218	16,0	44,0
315	273	21,0	49,0
400	344	28,0	54,3
500	427	36,5	66,0
630	533	48,5	88,0
800	690	55,0	87,0
1000	853	73,5	107,0
1200	1025	87,5	131,0

Tabella 3.1: Dimensioni del tubo Ecopal® di classe SN 4

I valori del diametro interno adottati per tutte le classi di Ecopal® sono superiori a quelli minimi ammissibili previsti dalla norma UNI EN 13476; ciò dipende dal fatto che le diverse classi di rigidezza sono ottenute con la modifica dello spessore della costola e non, come in altri tipi di tubo, attraverso variazioni di altezza e/o passo della corrugazione.

Variazioni riscontrabili nei valori degli spessori, che comunque non influenzano la rigidezza circonferenziale, sono dovute alle tolleranze di lavorazione ed ai ritiri del materiale durante il raffreddamento, presenti in tutti i tipi di tubazioni in polietilene. Gli standard di lavorazione permettono di mantenere costante il valore del diametro interno entro le normali tolleranze di ritiro, e quindi permettono al progettista di eseguire i calcoli idraulici sulla base di dati certi e costanti.

I valori di produzione garantiti e le rispettive tolleranze sono riportati nella tabella 3.2, in cui tra parentesi sono indicati i limiti previsti dalla norma UNI EN 13476.

DN (mm)	min - D_e - max (mm)	D_i min (mm)	e_5 (mm)
200	198,8 – 200,6	176 (≥ 167)	≥ 1,1
250	248,5 – 250,8	218 (≥ 209)	≥ 1,6
315	313,2 – 316,0	273 (≥ 263)	≥ 1,9
400	397,6 – 401,2	344 (≥ 335)	≥ 2,1
500	497,0 – 501,5	427 (≥ 418)	≥ 2,8
630	626,3 – 631,9	533 (≥ 527)	≥ 3,3
800	795,2 – 802,4	690 (≥ 669)	≥ 4,1
1000	994,0 – 1003,0	853 (≥ 837)	≥ 5,0
1200	1192,8 – 1203,6	1025 (≥1005)	≥ 5,0

Tabella 3.2: Tolleranze dimensionali di produzione.

3. 3 – LA PRODUZIONE

La produzione del tubo *Ecopal*® è basata su una particolare tecnologia di coestrusione rappresentata in figura 3.3.

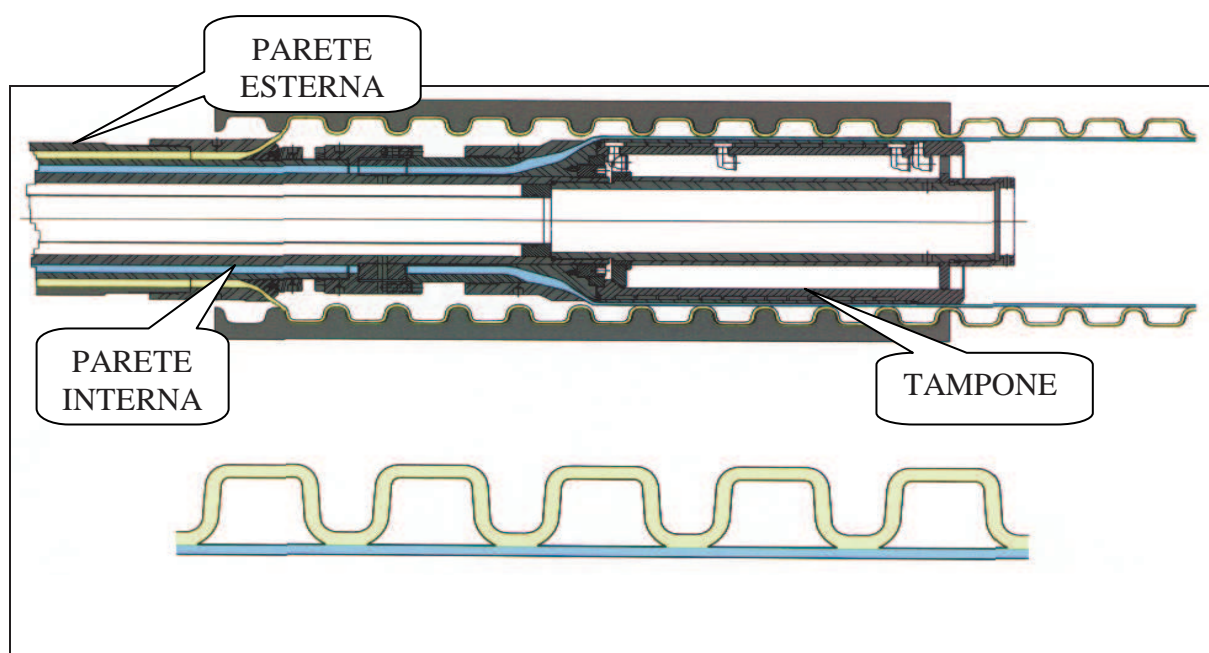



Figura 3.3: Schema di produzione del tubo corrugato.

L'impianto è composto da una testa d'estrusione che emette materiale da due filiere concentriche (di qui la definizione di "*coestruso*") a cui segue la formazione della corrugazione esterna mediante una serie di stampi mobili con movimento tipo *cartepillar*.

Schematizzando il processo di formazione del tubo si possono individuare le seguenti fasi:

- ✓ il polietilene in granuli è avviato dai silos alle tramogge situate sopra gli estrusori. I due estrusori hanno diversa capacità di estrusione in funzione della quantità di materiale utilizzato per le due pareti; indicativamente la parete interna rappresenta circa i 2/5 della massa totale del tubo. Il complesso assicura una capacità produttiva intorno ai 1200 kg/h con una velocità di produzione, a seconda del diametro, da 3 a 0,3 m/min.

- ✓ la filiera esterna produce un "tubo" che è spinto e risucchiato sugli stampi in modo che il materiale fluido venga ad appoggiarsi alla parete interna dello stampo stesso, assumendo la forma della corrugazione.

- ✓ la filiera interna fornisce la parete interna del tubo, in pratica estrude un tubo di spessore e_5 la cui forma circolare ed il diametro interno sono controllati dal tampone.

- ✓ in corrispondenza del tampone, la corrugazione, già formata ma ancora ad alta temperatura, si fonde allo strato interno. Tale processo permette di comprendere come lo spessore e_4 risulti diverso della somma delle due pareti. La velocità d'estrusione e quella di avanzamento dello stampo sono calibrate in maniera tale da assicurare una struttura omogenea con parametri geometrici ottimali; i parametri di regolazione (velocità, temperatura degli stampi, grado di vuoto, pressione dell'aria) sono controllati da un software, mentre il vuoto e l'aria vengono controllati con appositi valvole.

- ✓ il tubo è sottoposto ad un primo raffreddamento tramite gli stampi che sono raffreddati ad acqua e mantengono una temperatura costante. Segue un raffreddamento ad acqua ed il taglio alla lunghezza voluta, localizzato nella sezione tra le costole.

La tecnologia *Ecopal*® si differenzia da altre similari, perché non si determinano tensioni interne od esterne anomale dovute a disomogeneità di temperatura che possono, a medio o lungo termine, determinare cedimenti, delaminazioni o distacchi della corrugazione.

4. LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La produzione della tubazione corrugata in polietilene Ecopal® è soggetta alla normativa UNI EN 13476 (*Plastic piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Structured-wall piping systems of unplasticize poly(vinyl chloride), (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE))* pubblicata nel maggio 2007.

La normativa è divisa in tre parti:

- parte 1: requisiti generali e caratteristiche prestazionali;
- parte 2: specifiche per tubi e pezzi speciali con la superficie interna ed esterna liscia, tipo A;
- parte 3: specifiche per tubi e pezzi speciali con la superficie interna liscia e la superficie esterna profilata, tipo B.

La normativa prevede tre diverse tipologie di tubi strutturati:

- tipo A1: costruzione a sandwich o a parete cava con cavità assiali;
- tipo A2: costruzione a parete cava con cavità disposte a spirale;
- tipo B: costruzione costolata o corrugata, con costolatura con corrugazione elicoidale od anulare piena o cava;

e tre diversi materiali plastici:

- PE (polietilene);
- PP (polipropilene);
- PVC (policloruro di vinile non plastificato).

Se si esamina l'uso dei vari tipi di profilo indicati nella norma si può rilevare che:

- il profilo tipo A1 (sandwich) è poco usato sul PE, è tipico dei tubi in PVC ed è in ogni caso normalizzato solo sul diametro esterno;
- il profilo tipo A2 è utilizzato per tubi in PE e PP, con normalizzazione sul diametro interno; la produzione è prevalentemente tedesca;
- Il profilo tipo B è più generale e viene utilizzato per tubi in qualsiasi resina: per PVC la sezione tipica è quella con costola piena, per PE e PP quella con costola cava coestrusa od applicata.

Al di là di quanto indicato e previsto dalla normativa, le tubazioni ed i rispettivi materiali attualmente presenti sul mercato italiano sono, in ordine decrescente di diffusione:

- tubazioni corrugate in polietilene (profilo B);
- tubazioni corrugate in polipropilene (profilo B);
- tubazioni spiralate in polietilene (profilo A2);
- tubazioni alveolari in PVC (profilo A1);
- tubazioni a sandwich in PVC (profilo A1)

Sulla base di quanto sopra, nel seguito si farà riferimento alle prove previste dalla normativa UNI EN 13476-3 relative alle tubazioni corrugate in polietilene.

4. 1 – PROVE SUL MATERIALE

La normativa indica quali devono essere le caratteristiche dei materiali utilizzati per la produzione delle tubazioni e dei raccordi. Le prove previste sul polietilene sono riportate nella tabella 4.1, in cui sono definite le prescrizioni, i parametri ed i metodi di prova.

Caratteristiche	Prescrizioni	Parametri di prova		Metodo di prova
		Caratteristica	Valore	
Densità	≥ 930 kg/m^3	Temperatura	(23 ± 2) °C	UNI EN ISO 1183
Indice fluidità	MFR ≤ 1,6 g/10'	Temperatura	190 °C	UNI EN ISO 1133
		Carico	5 kg	
Resistenza a lungo termine	Nessuna rottura nel periodo di prova	Terminali Numero campioni Temperatura Tensione circonf. Tipo di prova Durata Temperatura Tensione circonf. Tipo di prova Durata	Tipi A o B 3 80 °C 4,0 MPa Acqua/Acqua 165 h 80 °C 2,8 MPa Acqua/Acqua 1000 h	UNI EN 1167-1 UNI EN 1167-2
Stabilità termica	≥ 20 minuti	Temperatura	200 °C	UNI EN 728

Tabella 4.1: Caratteristiche dei materiali dei tubi di PE e dei raccordi stampati ad iniezione

4. 2 – CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E SUPERFICIALI

La normativa UNI EN 13476 offre la possibilità di normalizzare le tubazioni in alternativa sui diametri interni o sui diametri esterni: ciò significa che le tubazioni possono essere prodotte con diametri nominali interni od esterni.

La normativa prevede per quanto riguarda i diametri esterni produzioni che vanno dal DN/OD 110 al DN/OD 1200 (12 diversi diametri) e per i diametri interni produzioni che vanno dal DN/ID 100 al DN/ID 1200 (13 diversi diametri).

In particolare la normativa indica quali devono essere le dimensioni minime del diametro interno, dello spessore della parete interna e della lunghezza dei manicotti/bicchieri.

Per quanto concerne inoltre le caratteristiche superficiali dei tubi, la normativa prescrive che:

- all'esame visivo le superfici interne ed esterne devono essere lisce, pulite ed esenti da incisioni, soffiature ed altre irregolarità superficiali;
- il materiale non deve contenere visibili impurità o pori;

- le estremità dei tubi devono essere tagliate perpendicolarmente all'asse e senza sbavature.

Dal punto di vista delle applicazioni pratiche in cantiere sono sicuramente più interessanti i tre gruppi di prescrizioni che la normativa indica per il prodotto finito e che riguardano in particolare le caratteristiche:

- meccaniche;
- fisiche;
- funzionali.

Tali prove hanno lo scopo di simulare eventuali situazioni critiche estreme che si possono verificare durante la posa in cantiere e testare i corrispondenti comportamenti delle tubazioni.

4. 3 – CARATTERISTICHE MECCANICHE

Nella tabella 4.2 sono indicate le prove meccaniche a cui devono essere sottoposte le tubazioni qualunque sia il materiale di cui sono composte. La normativa prevede le classi di rigidità SN 2, 4, 8 e 16 kPa verificate mediante determinazione sperimentale sulla base della norma UNI EN ISO 9969. Per la classe di rigidità SN 2 kPa, il diametro deve essere maggiore di 500 mm.

Caratteristiche	**Prescrizioni**	**Parametri di prova**		**Metodi di prova**
		Caratteristiche	**Valori**	
Rigidezza circonferenziale	≥ di quella di classificazione			UNI EN ISO 9969
Creep ratio	≤ 4, con estrapolazione a 2 anni			UNI EN ISO 9967
Resistenza all'urto	TIR ≤ 10%	Tipo, massa percussore Altezza di caduta Temperatura di prova Condizionamento	Vedi EN 13476 (0 ± 1) °C Acqua/Aria	UNI EN 744
Flessibilità anello	Vedi EN 13476	Deformazione	30% diam. esterno	UNI EN 1446

Tabella 4.2: Caratteristiche meccaniche dei tubi

La prova di *flessibilità dell'anello*, effettuata in base alla norma UNI EN 1446, prevede che un provino avente una lunghezza pari a 300 ± 10 mm venga sottoposto ad una deflessione a velocità costante sino ad arrivare al 30% di variazione del diametro esterno. Durante e alla fine della prova si deve verificare che il provino non riporti evidenti fratture o cedimenti.

Lo scopo della prova è anche quello di verificare il comportamento delle tubazioni sottoposte a carichi elevati in cantiere che possono creare deformazioni eccessive. Risulta evidente che tali deformazioni garantiscono la resistenza della singola barra, ma non permettono la conservazione della capacità idraulica della tubazione e soprattutto la tenuta idraulica

dell’intero sistema tubo-manicotto. Un'immagine della prova effettuata presso il laboratorio interno Polieco è rappresentata nella figura 4.1.

Figura 4.1: Provino di tubo corrugato DN 315 deformato fino al 30% del diametro esterno

La *prova ad urto* consiste nel trasmettere ad un provino di tubo corrugato un'energia d'urto, dovuta alla caduta di una massa da un'altezza prefissata. Prima della prova è necessario preparare un numero di spezzoni di tubo, di lunghezza pari a 200 (±10) mm, in modo da impartire un minimo di 25 colpi in coincidenza di linee equidistanti tratteggiate lungo il provino. Prima della prova i campioni devono essere termostatati per circa due ore in cella frigorifera alla temperatura di (-10 ± 2)°C al fine di mantenere durante lo spostamento degli stessi dalla cella alla macchina per la prova la temperatura di 0°C richiesta dalla norma di riferimento. Il dardo ha un peso che varia da 1,0 kg (diametri esterni pari a 160 mm) a 3,2 kg (diametri esterni superiori a 315 mm). L'altezza di caduta del dardo è pari a 2000 mm. Il provino al termine della prova non deve mostrare nessun segno di cedimento o fessurazione visiva che permetta il passaggio d’acqua dall’interno verso l’esterno e viceversa.

Questa prova permette tra le altre cose di capire come si comporta la tubazione nel caso di accidentali cadute di materiale grossolano durante le fasi di rinterro nel caso di pose a basse temperature.

4. 4 – CARATTERISTICHE FISICHE

Nella tabella 4.3 sono indicate le prove fisiche a cui devono essere sottoposte le tubazioni in polietilene.

Caratteristiche	Prescrizioni	Parametri di prova		Metodi di prova
		Caratteristiche	Valori	
Prova al forno	≤ 3% senza nessuna crepa o delaminazione	Temperatura Tempo di immersione Spessore ≤ 8 mm Spessore > 8 mm	(110 ± 2) °C 30 min 60 min	ISO 12091

Tabella 4.3: Caratteristiche fisiche dei tubi di PE

La *prova al forno*, effettuata in base alla norma ISO 12091, prevede di tagliare uno spezzone di tubo di lunghezza pari a 300 (± 20) mm e sezionarlo longitudinalmente in due o quattro parti uguali a seconda del diametro. Il campione viene inserito all'interno di un forno dove viene mantenuto per un tempo pari a 30 minuti se lo spessore della parete è inferiore a 8 mm e 1 ora se lo spessore della parete è superiore a 8 mm ad una temperatura di (110 ± 2)°C. Una volta tolto il campione e raffreddato a temperatura ambiente si devono rilevare le dimensioni degli eventuali difetti, rotture, bolle, delaminazioni o qualsiasi altro difetto fuori dalla normale forma standard del tubo. Lo scopo della prova è quello di verificare come si può comportare la parete esterna del tubo nel caso in cui sia sottoposta ad elevati valori di temperatura, come ad esempio può avvenire in un cantiere durante il periodo estivo.

4. 5 – CARATTERISTICHE FUNZIONALI

Nella tabella 4.4 sono indicate le prove funzionali a cui devono essere sottoposte le tubazioni strutturate in materiale plastico. La prova, rappresentata nella figura 4.2, viene effettuata per valutare la tenuta idraulica del sistema costituito da tubo corrugato, manicotto di giunzione e guarnizione elastomerica. La normativa (EN 1277), in base alla quale viene realizzata la prova, è la stessa che viene eseguita per i tubi in PVC a parete piena.
Il test viene eseguito a tre diversi livelli di pressione:

- 0,05 bar corrispondente ad un funzionamento standard;
- 0,5 bar corrispondente ad un picco di portata;
- -0,3 bar corrispondente ad un funzionamento in presenza di falda.

Nei primi due casi la prova è visiva: dopo 15 minuti si deve controllare che non vi siano tracce di perdita di acqua; nel terzo caso si deve verificare sempre dopo 15 minuti che la pressione misurata da un manometro e visualizzata a video non scenda al di sotto del 10% rispetto alla pressione iniziale di prova.

Caratteristiche	**Prescrizioni**	**Parametri di prova**		**Metodi di prova**
		Caratteristiche	**Valori**	
		Temperatura	(23 ± 2) °C	EN 1277
		Deflessione tubo	10 %	Cond. B
		Defless. manicotto	5 %	
		Differenza	5 %	
	Nessuna perdita	Press. acqua	0,05 bar	
	Nessuna perdita	Press. acqua	0,5 bar	
	≤ - 0,27 bar	Press. Aria	- 0,3 bar	
Tenuta idraulica				
		Temperatura	(23 ± 2) °C	EN 1277
		Defless. angolare		Cond. C
		De ≤ 315	2°	
		315 < De ≤ 630	1,5°	
		630 < De	1°	
	Nessuna perdita	Press. acqua	0,05 bar	
	Nessuna perdita	Press. acqua	0,5 bar	

	≤ - 0,27 bar	Press. aria	- 0,3 bar	

Tabella 4.4: Requisiti di comportamento

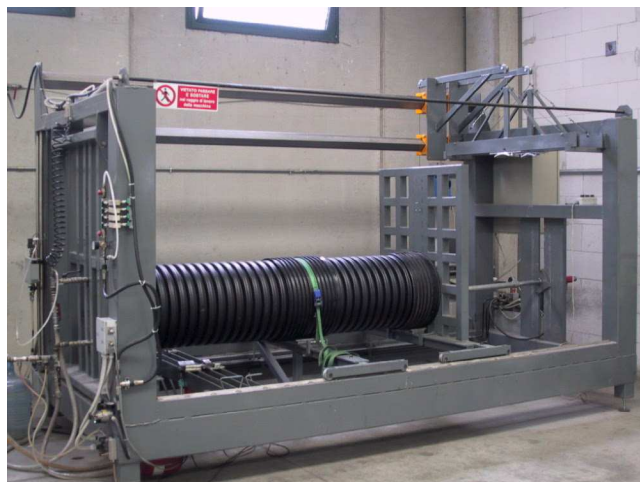



Figura 4.2: Prova di tenuta idraulica su una tubazione corrugata in polietilene DN/OD 500

Le prove vengono effettuate non solo con spezzoni di tubi allineati ma anche nel caso in cui si abbia:

- una deflessione diametrale differente (pari al 10% del tubo e al 5% del manicotto);
- una deflessione angolare del sistema, variabile, a seconda del diametro, da 1° a 2° a cui si può aggiungere un valore dell'angolo garantito dalla ditta produttrice dei tubi. Polieco ad esempio garantisce 1° in più per tutti i diametri rispetto a quanto previsto dalla normativa.

Le prove funzionali simulano quindi eventuali imprecisioni che possono essere presenti in fase di posa in cantiere come possono essere un allineamento non corretto delle barre od un differente carico trasmesso sulla tubazione e sul manicotto.

4. 6 – MARCATURA DI CONTROLLO

La marcatura di controllo dei tubi segue le prescrizioni della norma EN 13476-3. In particolare su ogni tubazione devono essere indicati:

- numero della norma;
- diametro nominale (DN/OD o DN/ID)
- nome o marchio del produttore;
- classe di rigidità (indicata con SN);
- flessibilità anulare (RF30);
- materiale (PE o PP);
- codice area di applicazione (codice U per applicazione all'esterno di edifici);
- mese, anno e stabilimento di produzione;

- marchi di prodotto dei diversi istituti di certificazione italiani ed esteri (P_{IIP}, UNI IIP, MPA, ELOT, ONORM, CSTB, AENOR, KIWA, TSUS, ITC ecc..).

La marcatura può essere direttamente stampata sul tubo oppure può essere applicata con etichette purché il livello di leggibilità sia conforme al tipo *a* (*durevole anche durante l'utilizzo*).

4. 7 – CERTIFICATI DI PRODUZIONE E MARCHI DI QUALITÀ

La produzione del tubo *Ecopal*® è controllata con continuità presso il laboratorio interno Polieco in conformità alla norma EN ISO 9001:2008. Polieco redige per ogni tipo o lotto di tubo un certificato di collaudo del prodotto finito che comprende i risultati dei test relativi a:

- controlli dimensionali (diametro interno, esterno e sullo spessore patere interna "e_5");
- resistenza allo schiacciamento secondo EN ISO 9969 per la determinazione della rigidità circonferenziale;
- prova di flessibilità con deformazione del 30% e constatazione d'assenza di difetti e fessurazioni;
- resistenza all'urto con osservazione di eventuali fessurazioni o rotture;
- prova al calore con osservazione di eventuali difetti o delaminazioni.

Le altre prove previste dalla normativa sono eseguite con regolarità e fanno parte della documentazione di produzione. La cadenza di esecuzione delle prove è stata stabilita in accordo con gli Istituti di Certificazioni che a cadenza semestrale o annuale visitano l'azienda e verificano la produzione del tubo *Ecopal*®.

Negli anni oltre al marchio dell'Istituto Italiano dei Plastici (P_{IIP}, UNI IIP), il tubo *Ecopal*® ha ottenuto i seguenti marchi:

- il marchio francese CSTBat;
- il marchio tedesco MPA-DA;
- il marchio spagnolo AENOR;
- il marchio olandese KIWA;
- il marchio austriaco ONORM;
- il marchio slovacco TSUS;
- il marchio ceco ITC;
- il marchio greco ELOT.

L'ottenimento di tali certificazioni risulta necessaria nel momento in cui Polieco ha scelto di esportare il prodotto nel resto d'Europa.

4. 8 – SPECIFICHE TECNICHE

Il progettista, l'appaltatore, il cliente pubblico o privato che deve prescrivere od acquistare un tubo per una rete fognaria deve emettere una precisa specifica atta ad individuare le

caratteristiche del tubo desiderato, che comprenda, oltre alle prescrizioni sulla materia prima, gli altri parametri tipici del tubo stesso.

La specifica tipica o "voce di capitolato" per i tubi strutturati tipo *Ecopal*® normalizzati sul diametro esterno è indicata qui di seguito.

Tubo strutturato in polietilene ad alta densità coestruso a doppia parete, liscia internamente di colore viola e corrugata esternamente di colore nero, per condotte di scarico interrate non in pressione, prodotto in conformità alla norma EN 13476-1 tipo B, certificato dal marchio PIIP rilasciato dall'Istituto Italiano dei Plastici, con classe di rigidezza pari SN 4 (o 8) kN/m^2, in barre da 6 (o 12) m, con giunzione mediante manicotto in PEAD ad innesto a marchio PIIP/a e IIP UNI e guarnizione a labbro in EPDM.

Il tubo deve essere prodotto da azienda certificata ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004 (certificazione ambientale).

- *Diametro nominale esterno DE ....diametro interno minimo Di ....(≥ al minimo definito dalla norma di riferimento)*
- *Classe di rigidezza circonferenziale SN rilevata su campioni di prodotto secondo EN ISO 9969*
- *Resistenza all'abrasione verificata in accordo alla norma EN 295-3*
- *Tenuta idraulica del sistema di giunzione certificata a 0,5 bar in pressione e 0,3 bar in depressione per 15 minuti secondo norma EN 1277*
- *Marcatura secondo norma contenente: nome commerciale, marchio IIP UNI e riferimento normativo, diametro nominale (DN/OD), classe di rigidità, flessibilità anulare, materiale, tipo profilo, codice d'applicazione d'area, giorno/mese/anno, ora/minuti di produzione*
- *Altri marchi di qualità richiesti:*
  marchio francese CSTBat
  marchio spagnolo AENOR
  marchio greco ELOT
  marchio slovacco TSUS
- *Combinazione di colori registrata con numero di deposito 001602269*

CAPITOLO 5. CALCOLI

5. 1 – CALCOLI IDRAULICI

5. 1. 1 – CALCOLO DELLA PORTATA A TIRANTE IDRAULICO

Per il calcolo della portata di una tubazione funzionante a pelo libero si utilizza generalmente la formula di moto uniforme ed in particolare la formula di Chézy:

$$v = \chi\sqrt{R \cdot i}$$

dove

v velocità media del fluido in m/s;

χ coefficiente di conduttanza dipendente dalla scabrezza relativa ε/R, dal numero di Reynolds (Re) e dalla forma della sezione;

R raggio idraulico definito come rapporto tra la superficie della sezione del flusso (A) ed il contorno dello stesso che tocca il canale (P);

i pendenza in m/m.

Nel caso di tubazione circolare i due termini A e P, visualizzabili nella figura 5.1, sono espressi dalle seguenti formule:

$$A = \frac{1}{2}r^2\left\{\left[\frac{\pi}{90°}\cdot \arccos\left(1-\frac{h}{r}\right)\right] - \operatorname{sen}\left[2\cdot \arccos\left(1-\frac{h}{r}\right)\right]\right\}$$

$$P = r\left[\frac{\pi}{90°}\cdot \arccos\left(1-\frac{h}{r}\right)\right]$$

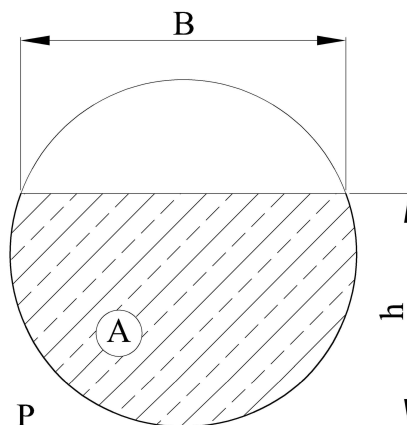



Figura 5.1: Grandezze geometriche per il calcolo della portata

In caso di deformazione per schiacciamento nelle tubazioni plastiche, l'area dell'ellissoide risultante tende a diminuire rispetto all'area del cerchio iniziale; restando inalterato il

perimetro, il raggio idraulico quindi diminuisce proporzionalmente. Dal punto di vista idraulico, una percentuale di deformazione entro i limiti accettabili del 5÷6% risulta poco influente sulle perdite di carico. Si può quindi affermare con sufficiente approssimazione che i parametri di flusso rimangano inalterati anche in caso di piccole deformazioni.

Nel caso di moto assolutamente turbolento il coefficiente di conduttanza non è più dipendente dal numero di Reynolds e può essere espresso da formule empiriche che mettono in relazione tale coefficiente con il coefficiente di scabrezza ed il raggio idraulico.

Tra le formule di uso più comune si ricordano quelle di:

a) Bazin

$$\chi_B = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

b) Gauckler-Stricker

$$\chi_{GS} = K_S \sqrt[6]{R}$$

dove γ e K_S sono dei parametri legati alla scabrezza della canalizzazione.

Si ricava quindi:

$$v_B = \chi_B \sqrt{R \cdot i}$$

$$v_{GS} = \chi_{GS} \sqrt{R \cdot i}$$

Agli effetti pratici la scelta della formula risulta di secondaria importanza rispetto alla definizione del parametro di scabrezza. Per la definizione di tale parametro si rimanda al paragrafo 5.1.3.

5. 1. 2 – CALCOLO DELLA PORTATA A TUBO PIENO

In ambito fognario vi sono alcuni casi particolari in cui risulta necessario effettuare la verifica anche di tubazioni in pressione, come ad esempio nel caso di picchi di portata in concomitanza di eventi di pioggia eccezionali, di sifoni utilizzati per gli attraversamenti o di condotte prementi di impianti di pompaggio.

In questo caso la perdita di carico per unità di lunghezza di condotta è espressa dalla formula:

$$J = \frac{\lambda \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

Il coefficiente dimensionale di attrito λ dipende dalla scabrezza relativa della condotta e dal numero di Reynolds. Nel caso di correnti turbolente il coefficiente viene normalmente espresso dall'equazione di Prandtl-Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left[\left(\frac{2,51}{R_e \cdot \sqrt{\lambda}}\right) + \left(\frac{k}{3,71 \cdot D_i}\right)\right]$$

in cui:

$Re = v\, D_i/\nu$	numero di Reynolds;
D_i	diametro interno in m;
v	velocità media in m/s;
ν	viscosità cinematica del fluido alla temperatura d'esercizio (varia per l'acqua da $1,52 \cdot 10^{-6}$ m^2/s a 5°C e $0,661 \cdot 10^{-6}$ m^2/s a 40 °C).

Per le fognature, salvo casi particolari, si usa una densità $\gamma = 999 \approx 1000$ kg/m^3 ed una viscosità cinematica $\nu = 1,142 \cdot 10^{-6}$ m^2/s (corrispondente a 15 °C).

Sulla base delle due formule indicate in precedenza, è possibile ricavare la velocità espressa dalla formula:

$$v = 2 \cdot \log\left[\left(\frac{k}{3,71 \cdot D_i}\right) + \left(\frac{2,51}{D_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D_i \cdot J}}\right)\right] \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D_i \cdot J}$$

da cui la portata risulta:

$$Q = \frac{v \cdot \pi \cdot D_i^2}{4}$$

5. 1. 3 – LA SCABREZZA DELLE TUBAZIONI

In campo idraulico un termine di discussione è da sempre il valore della scabrezza da applicare nelle formule per il calcolo della portata viste nei due paragrafi precedenti.

Occorre osservare che le caratteristiche di scabrezza, in condizioni di materiale nuovo, sono poco significative; con il passare del tempo sul fondo e sulle pareti della tubazione si forma una pellicola biologica che, insieme ai depositi, determina la scabrezza idraulica della canalizzazione. L'aumento della scabrezza con l'uso, che caratterizza in modo più o meno marcato tutti i materiali, dipende dalla facilità con cui le sostanze organiche aderiscono alle pareti della canalizzazione e, soprattutto, dalle velocità che caratterizzano le portate transitanti.

Ogni produttore tende a far apparire il suo tubo come "liscio", suggerendo valori di scabrezza tra i più bassi possibile. La tabella 5.1 fornisce un esempio parziale della disparità di valori del coefficiente k, reperibili da varie fonti.

Materiale	Valore minimo (mm)	Valore massimo (mm)
Acciaio	0,01	0,1
Ghisa	0,01	1
Ghisa con rivestim. bituminoso o cementizio	0,03	0,2
Materie plastiche in genere	0,01	0,1
PEAD	0,007	0,5
Cemento nuovo centrifugato	0,03	
Cemento nuovo lisciato	0,2	0,5
Cemento nuovo grossolano	1	2
Grès	0,1	1
Tubazioni vecchie	2	

Tabella 5.1: Variabilità del coefficiente di scabrezza

L'esame della tabella porta alla conclusione che, anche per gli stessi materiali, esistono disparità di vedute e spesso i valori sono suggeriti senza indicarne i limiti d'applicabilità e senza tenere conto del naturale invecchiamento e deterioramento delle tubazioni in esercizio. Il progettista deve quindi valutare correttamente le condizioni d'esercizio e soprattutto, nel caso di confronto tra diversi materiali, adottare ordini di grandezza omogenei.

La stessa variabilità si ritrova nelle regolamentazioni internazionali:

Austria: *OWWV - R5 (Direttive per il calcolo idraulico delle fognature)*:
k = 0,4 ÷ 1,0 mm per condotte lunghe;
k = 1,0 mm per canalizzazioni lunghe per trasporto;
k = 1,5 mm per normali canalizzazioni

Svizzera: *SIA 190 e Doc. 38 - Canalizzazioni*
k = 0,1 mm per tubi lisci, plastiche;
k = 1,0 mm per tubi rugosi, cemento

Francia: *Instructions techniques relative aux réseaux d'assainissement des agglomerations*.
Utilizza la formula di Bazin, con k tra 0,16 e 0,46 mm

Inghilterra: *Code of Practice CP 2005, Sewerage*
Fornisce le "Charts for the Hydraulic design of Channels and pipes" con valori di k = 0,003÷60 mm. Il progettista è responsabile del valore scelto.

Germania: *ATV 110*, k = 0,25 mm per acque chiare e fognature lineari e k = 0,5 mm Per fognature con acque cariche o fognature con pozzetti o pezzi speciali, fermo restando che le perdite di carico localizzare vanno aggiunte in sede di calcolo.

Tenendo conto di quanto espresso *dall'American Society for Testing Materials* (ASTM) e dalla Water Pollution Control Federation (WPCF), i valori dei parametri di scabrezza che si consigliano per le reti fognarie sono indicati nella tabella 5.2.

Materiale	Colebrook ε (mm)	Gauckler-Stickler K_S ($m^{1/3} s^{-1}$)
Calcestruzzo con casseforme lisce	0,3 ÷ 1,5	90 ÷ 70
Calcestruzzo con casseforme scabre	1,5 ÷ 6	70 ÷ 60
Muratura in mattoni		
Tubi in calcestruzzo	0,3 ÷ 3	90 ÷ 67
Tubi in grès		
Tubi in materie plastiche		
Tubi in ghisa		
Tubi in fibrocemento		

Tabella 5.2: Coefficienti di scabrezza

Nella tabella sottostante sono riportati i valori predefiniti del parametro K_S di Gauckler-Stickler assunti dal programma di calcolo MOUSE del Danish Hydraulic Institute per la simulazione del comportamento idraulico di reti fognarie. Questo programma di calcolo valuta separatamente le perdite di carico connesse con la presenza di pozzetti d'ispezione, di confluenze e di variazione di direzione.

Materiale	Gauckler-Stickler K_S ($m^{1/3} s^{-1}$)
Calcestruzzo liscio	85
Calcestruzzo normale	75
Calcestruzzo scabro	68
Tubi in grès	80
Tubi in materie plastiche	
Tubi in ghisa	70
Tubi in fibrocemento	

Tabella 5.3: Coefficienti di scabrezza utilizzati dal software MOUSE

POLIECO fornisce un programma di calcolo *Ecocalc* che permette tra le altre cose di calcolare le velocità e le portate secondo i metodi di Bazin e di Gauckler-Stickler in funzione della percentuale di riempimento e della pendenza delle tubazioni. All'interno del programma è stato utilizzato un valore prudenziale del coefficiente di scabrezza di Gauckler-Stickler pari a $K_s = 80$.

5. 1. 4 – PENDENZA E GRADO DI RIEMPIMENTO DELLE TUBAZIONI

La pendenza della tubazione è strettamente legata alla pendenza naturale del terreno, dalla quale si deve discostare di poco in modo da limitare le operazioni di scavo. La pendenza deve tener conto di alcuni fattori, quali:

- funzionamento a gravità degli scarichi;
- quota del livello di scarico nel ricettore finale;
- distanza minima tra l'estradosso della tubazione e la generatrice inferiore delle tubazioni per l'approvvigionamento idrico al servizio idropotabile di almeno 30 cm (come specificato nella *Circolare del Consiglio Superiore dei LL.PP. n° 11633 del gennaio 1974*).

I limiti minimi e massimi della pendenza da attribuire alla tubazione sono direttamente correlati alla velocità del fluido presente all'interno della tubazione: in particolare si deve verificare che in condizioni di portata minima sia garantita una velocità che permetta l'autopulizia della tubazione e in condizioni di portata massima non si raggiungano velocità troppo elevate che possano abradere la superficie interna della tubazione.

La *Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane* del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (2001) fa riferimento ad una pendenza mimima pari al 3‰ e ad una velocità minima calcolata in corrispondenza della portata media non inferiore a 0,5 m/s, valore indicato anche dalla Circolare del Consiglio Superiore dei LL.PP. citata in precedenza. Nel caso in cui non sia possibile raggiungere tale valore, devono essere interposti in rete adeguati sistemi di lavaggio. La norma UNI EN 724-4 (*Connessioni di scarico e collettori di fognatura all'esterno degli edifici – Progettazione idraulica e considerazioni legate all'ambiente*) parla per i collettori di diametro inferiore a 300 mm di una pendenza minima pari a 1/DN o di una velocità minima da raggiungere almeno una volta al giorno di 0,7 m/s.

Per quanto riguarda la velocità massima, la Circolare del Ministero citata in precedenza precisa che la velocità relativa alle portate di punta non dovrà di norma essere superiore ai 4 m/s.

Indicazioni vengono fornite anche relativamente ai diametri minimi da adottare: la Circolare del Consiglio Superiore dei LL.PP. specifica che il minimo diametro da utilizzare per le fognature miste o bianche è pari a 300 mm e per le fognature nere a 200 mm.

Per quanto riguarda il grado di riempimento della tubazione è necessario che sia mantenuto un franco tale da permettere un'adeguata circolazione dell'aria: la *Guida alla progettazione* citata in precedenza afferma che in corrispondenza della portata di progetto il franco non deve essere inferiore a:
- 50 % del diametro, se questo non supera i 40 cm;
- 20 cm se il diametro è compreso tra i 40 cm e 1 m;
- 20% del diametro se questo è superiore a 1 m.

5. 2 – CALCOLI STATICI

Oltre alla verifica idraulica, nel caso delle tubazioni flessibili risulta di fondamentale importanza effettuare anche una verifica statica. In particolare, come specificato in precedenza, si deve verificare che la tubazione prescelta, posata secondo le indicazioni di progetto, non subisca una deformazione eccessiva.

Generalmente la scelta della rigidità del tubo dipende dal terreno nativo, dal materiale di rinterro nella zona attorno al tubo e dalla sua compattazione, dall'altezza di copertura, dalle condizioni del carico e dalle proprietà limite dei tubi.

La scelta della rigidità del tubo può essere fatta usando i prospetti presenti nella norma sperimentale UNI ENV 1046 (*Sistemi di tubazioni e condotte di materia plastica – Sistemi di adduzione d'acqua e scarichi fognari all'esterno dei fabbricati – Raccomandazioni per installazione interrata e fuori terra*) o sulla base di calcoli strutturali come specificato nelle pagine successive.

Nella tabella 5.5 è ad esempio indicata la rigidità minima raccomandata delle tubazioni nel caso di posa in aree in presenza di traffico in funzione del materiale di rinterro e dello spessore di ricopertura.

Gruppo materiale di rinterro	**Classe di compattazione[2]**	**Rigidità del tubo[1]**					
		Gruppo di suolo nativo non disturbato					
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
		Per spessore di ricopertura ≥ 1m e ≤ 3m					
1	W	4	4	6,3	8	10	**
2	W	-	6,3	8	10	**	**
3	W	-	-	10	**	**	**
4	W	-	-	-	**	**	**
		Per spessore di ricopertura > 3m e ≤ 6m					
1	W	2	2	2,5	4	5	6,3
2	W	-	4	4	5	8	8
3	W	-	-	6,3	8	10	**
4	W	-	-	-	**	**	**

1) Rigidità anulare specifica
2) W (buono) classe di compattazione massima
**) è necessario il progetto strutturale per determinare i dettagli della trincea e la rigidità anulare del tubo

Tabella 5.5: Rigidità circonferenziale minima raccomandata per aree con traffico

I terreni sono divisi in tre tipologie (granulare, coesivo ed organico) ed in sei sottogruppi come specificato in tabella 5.6. I materiali di tipo organico (gruppo 5 e 6) non devono essere utilizzati come terreno di riempimento.

Gruppo di terreno	Tipo di terreno		
		Nome	**Esempio**
granulare	1	Ghiaia a singola pezzatura, ghiaia ben vagliata, mescole di ghiaia e sabbia, mescole di ghiaia e sabbia poco vagliata.	Roccia frantumata, ghiaia di fiume, ghiaia morenica, ceneri vulcaniche
	2	Sabbia a singola pezzatura, mescole di sabbia e ghiaia, mescole di sabbia e ghiaia poco vagliata.	Sabbia da dune e depositi alluvionali, sabbia morenica, sabbia da costa
granulare	3	Ghiaia con limo, ghiaia con argilla, sabbia con limo, sabbia con argilla, mescole poco vagliate di ghiaia, limo e sabbia	Ghiaia con argilla, sabbia con terriccio, argilla alluvionale
coesivo	4	Limo inorganico, sabbia fine con limo ed argilla, argilla inorganica.	Terriccio, marna alluvionale, argilla
organico	5	Limo organico, limo organico argilloso, argilla organica, argilla con mescole organiche	Strato superficiale, sabbia da tufo, calcare marino, fango, terriccio
organico	6	Torba, altri terreni altamente organici, fanghi	Torba, fanghi

Tabella 5.6: Tipologia di terreno

La classe di compattazione è definita in funzione del grado di compattazione espresso in densità di riferimento Proctor (SPD) in funzione delle diverse tipologie di materiali, come espresso nella tabella 5.7.

Classe di compattazione	Gruppo materiale di rinterro			
	4	**3**	**2**	**1**
N (not)	75÷80 %	79÷85 %	84÷89 %	90÷94 %
M (moderate)	81÷89 %	86÷92 %	90÷95 %	95÷97 %
W (well)	90÷95 %	93÷96 %	96÷100 %	98÷100 %

Tabella 5.7: Indice di Proctor per le diverse classi di compattazione

Nel seguito vengono descritti due metodi alternativi utilizzati per la verifica statica della tubazione: il metodo di Spangler ed il metodo previsto dalla normativa tedesca ATV.

5. 2. 1 – METODO SPANGLER

L’analisi del sistema strutturale tubo flessibile-terreno è stata sviluppata nell'Università dello Iowa da Spangler e Marston. L'equazione di Spangler è stata poi modificata sulla base degli studi di Barnard ed altri nella forma comunemente accettata per il calcolo della deformazione dei tubi flessibili.

L'equazione di Spangler modificata si presenta come:

Deformazione = (carico sul tubo)/(rigidezza del tubo + rigidezza del terreno):

e viene espressa dalla seguente formula:

$$\Delta_v = \frac{(d_1 \cdot p_o + p_t) \cdot K_X}{8 \cdot SN + 0{,}061 \cdot E'}$$

in cui :

Δ_v deformazione, in m

d_1 fattore di autocompattazione (1,5 per compattazioni moderate e 2 per compattazioni medie con limitata altezza di copertura)

p_o carico del terreno, in N/m

p_t carico dovuto al traffico, in N/m

K_x costante di fondo

SN rigidezza circonferenziale a lungo termine, riferita al diametro, in Pa

E' modulo secante del terreno, in Pa

Nella formula non compaiono direttamente i dati relativi alla trincea, che influiscono invece sul calcolo del carico. Nel caso di uno scavo a trincea stretta (B < 3De e B < H/2), il carico del terreno gravante sulla unità di lunghezza di tubo può essere espresso dalla formula seguente:

$$p_0 = C \cdot \gamma_t \cdot D_e \cdot B \quad \text{in N/m}$$

in cui:

C coefficiente di carico del terreno

γ_t peso specifico del materiale di riempimento gravante sul tubo, in N/m^3

D_e diametro esterno del tubo, in m

B larghezza dello scavo misurata in corrispondenza dell’estradosso superiore della tubazione, in m

Nella notazione corrente

$$C = \frac{1 - e^{\left(\frac{-2 \cdot K \cdot \mu \cdot H}{B}\right)}}{2 \cdot K \cdot \mu}$$

in cui:

H altezza della copertura misurata dall’estradosso superiore del tubo, in m

μ coefficiente di attrito tra il materiale di riempimento e quello del fianco dello scavo

K (1– sinφ)/(1+ sinφ) = coefficiente di Rankine, con φ uguale all'angolo di attrito interno del terreno di riporto.

Il valore di φ varia in funzione del tipo di terreno come è esplicitato nella tabella 5.8.

Tipo di terreno	φ
terreno non coesivo	35°
terreno leggermente coesivo	30°
terrreno coesivo mescolato	25°
terreno coesivo	20°

Tabella 5.8: Dati relativi al coefficiente φ

Nel caso di "trincea larga o terrapieno", il carico totale gravante sulla tubazione (carico di prisma) è indicato come:

$$p_0 = \gamma_t \cdot D_e \cdot H$$

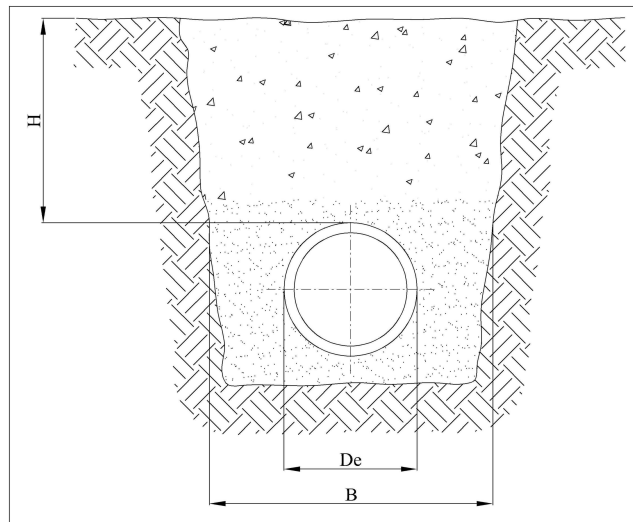



Figura 5.1: Elementi per il calcolo della deformazione

Il carico superficiale p_t comprende il carico Q_s dovuto alle strutture gravanti sulla trincea (fondazioni, muri ecc.) ed il carico Q_t dovuto al traffico. La formulazione deriva dalla teoria di Boussinesq, con la quale si calcola la tensione verticale dovuta ad un carico superficiale in un punto qualsiasi sotto la superficie:

$$\sigma_z = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \cdot \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{H} \right)^2} \right]^{\frac{5}{2}}$$

ove:

σ_z = tensione verticale, in Pa;
Q = carico superficiale totale = $Q_t + Q_s$, in N
H = altezza di copertura, in m
r = distanza orizzontale dal punto di carico, in m

La tensione si considera ugualmente distribuita su una larghezza pari al diametro orizzontale del tubo e di lunghezza unitaria. Il carico P_t unitario diviene quindi:

$$p_t = \sigma_z \cdot D_e \qquad \text{in N/m}$$

Nel caso di carico puntuale applicato sulla verticale della tubazione, caso di tensione massima, r = 0 e quindi il carico unitario per unità di lunghezza risulta

$$p_t = \frac{3 \cdot Q \cdot D_e}{2 \cdot \pi \cdot H^2} \qquad \text{in N/m}$$

I carichi puntuali Q_t dovuti al traffico sono indicati nella tabella 5.9.

Classe di carico	**Carico totale Q (kN)**	**Carico per ruota Q (kN)**
Traffico pesante	600	100
Traffico medio	450 300	75 50
Traffico leggero	120 60	20 20
Autovettura	30	10

Tabella 5.9: Carichi puntuali dovuti al traffico

Il carico p_t può essere permanente o saltuario; in genere, esso è considerato come permanente anche se a rigore di logica sarebbe saltuario (salvo che non si tratti di un parcheggio) e quindi causerebbe reazioni elastiche sia di tensione sia di deformazione. Infatti, il carico stradale può portare chiaramente a cedimenti per sollecitazione ciclica (che nei tubi rigidi può diventare rottura a fatica) e non per superamento delle tensioni o deformazioni ammissibili. Considerare permanente il carico Q_t, come appare nella formula, è per i tubi in materiale plastico a favore di sicurezza.

Come intuibile dalle formule, il carico p_t decresce con il quadrato della profondità di copertura e di conseguenza risulta prevalente rispetto al carico del terreno con altezze di ricoprimento inferiori a 1,5 ÷ 2 m. La tabella 5.10 ed il grafico riportato in figura 5.2 forniscono un esempio della variazione dei carichi del terreno, dei carichi del traffico e dei carichi totali in funzione dell'altezza di copertura. Come si vede, l'influenza del carico dovuto al traffico decresce sensibilmente con l'aumento della copertura.

Si sono considerati i seguenti dati:

- diametro tubo *Ecopal*®: 800 mm
- classe di rigidezza: SN 4 kPa
- larghezza della trincea: 1,8 m
- riempimento: sabbia (γ = 17,2 kN/m^3; μ = 0,75; K = 0,25; φ = 0,33°)
- carico del traffico: Q_t = 100 kN

H (m)	0,5	1	2	3	4	5	6	7
P_o (kN)	6,5	12	23	31	37	43	47	51
P_t (kN)	153	38	10	2,2	2,4	1,5	1,1	0,8
P_{tot} (kN)	159	51	32	35	40	44	48	52

Tabella 5.10: Carichi in funzione dell'altezza di copertura

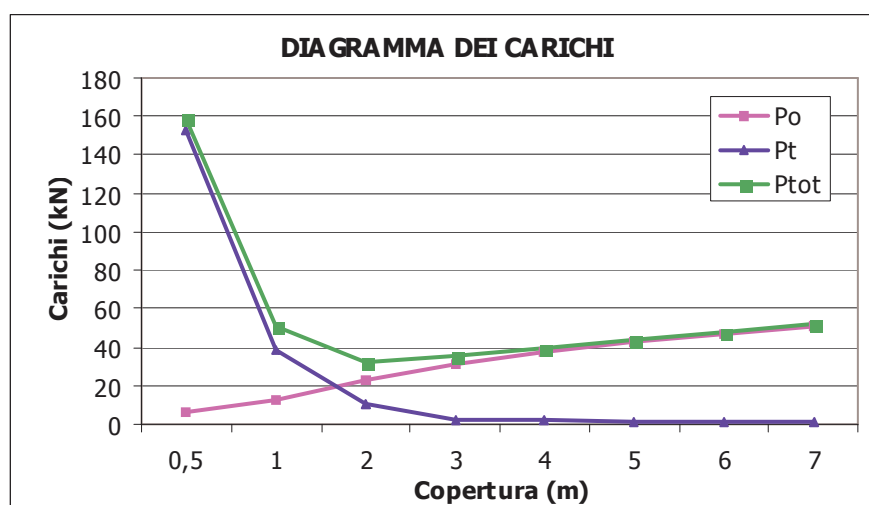



Figura 5.2: Diagramma dei carichi in funzione dell'altezza di copertura

Nella formula per il calcolo della deformazione appare il modulo di resistenza del terreno, o modulo secante, E' = e r ove "*e*" è il modulo elastico del terreno ed "*r*" è il raggio della tubazione. E' è una costante per tutti i diametri di tubo ed è funzione della natura del terreno e del grado di compattazione del terreno stesso. La classificazione generalmente adottata per la definizione del materiale è quella indicata nella norma americana ASTM 2487 e riportata nella tabella 5.11.

I valori più bassi nella tabella sono generalmente validi per il calcolo della deformazione iniziale, in quanto a medio e lungo termine si può contare su una maggiore compattazione, sia dovuta al passaggio, anche semplicemente pedonale, sull'area dello scavo, sia all'autocompattazione del terreno sotto il peso proprio. Per il passaggio alla deformazione a lungo termine, è applicato il fattore di autocompattazione (*lag factor*) d_l. Occorre in ogni caso tenere presente che il grado di compattazione, e quindi E', aumenta nel tempo.

	Materiale alla rinfusa	Materiale compattato		
INDICE PROCTOR		**< 85%**	**85÷90%**	**> 95%**
DENSITA' RELATIVA		**< 40%**	**40÷70%**	**> 70%**
TIPO DI TERRENO	**E' (N/mm^2)**			
Terreno con bassa granulometria LL > 50	0	0	0	0,35
Suoli con media ed alta plasticità	(è raccomandata un'analisi particolareggiata)			
Terreno coesivo a bassa granulometria LL>50. Suoli con media e bassa plasticità con meno del 25% di particelle grossolane	0,35	1,38	2,76	6,9
Terreno a bassa granulometria LL>50. Suoli con bassa o media plasticità, con più del 25% di particelle grossolane. Suoli con granulometria grossolana con più del 12% di particelle fini	0,69	2,76	6,9	13,8
Terreno con garnulometria grossolana,con meno del 12% di particelle fini	0,69	6,9	13,8	20,7
Misto di cava (crushed rock)	6,9	20,7	20,7	20,7
Accuratezza in termini di differenza tra deformazione calcolata e reale (in %)	± 2 %	± 2 %	± 2 %	± 0,5 %

Tabella 5.11: Valori del modulo di resistenza del terreno.

Nella formula usata nel software *Ecocalc* è introdotto come moltiplicatore del carico p (carico totale) un fattore costante di incremento del carico stesso, costante di flessione, pari a 1,5. ASTM applica il "lag factor" al solo p_0, con valore 1,5 ma consiglia di usare 2 nel caso di riempimenti con materiali incoerenti.

Il termine K_x, costante di fondo, che compare al numeratore nella formula della deformazione è legato al valore dell'angolo di supporto, anche chiamato angolo di sostegno, come rappresentato nella figura 5.3. I valori della costante K_x, funzione dell'angolo di supporto, sono riportati nella tabella 5.12.

Angolo 2α	**0°**	**90°**	**120°**	**180°**
K_x	0,110	0,096	0,090	0,083

Tabella 5.12: Valori della costante di fondo in funzione dell'angolo di supporto.

Al crescere dell'angolo, decresce il valore della costante e quindi della deformazione. I valori di K_x sono interpolabili linearmente. La diminuzione della deformazione tra l'appoggio puntuale e l'appoggio massimo è del 24,5%. Per qualsiasi tubo flessibile (ma anche per quelli rigidi, per i quali l'appoggio riveste la stessa importanza) è quindi opportuno creare un letto di posa che permetta un angolo d'appoggio tra 90° e 120°. La condizione di massimo

appoggio viene raggiunta eseguendo un'accurata compattazione del materiale di rinfianco fino ad un'altezza di circa 30 cm sopra l'estradosso del tubo.

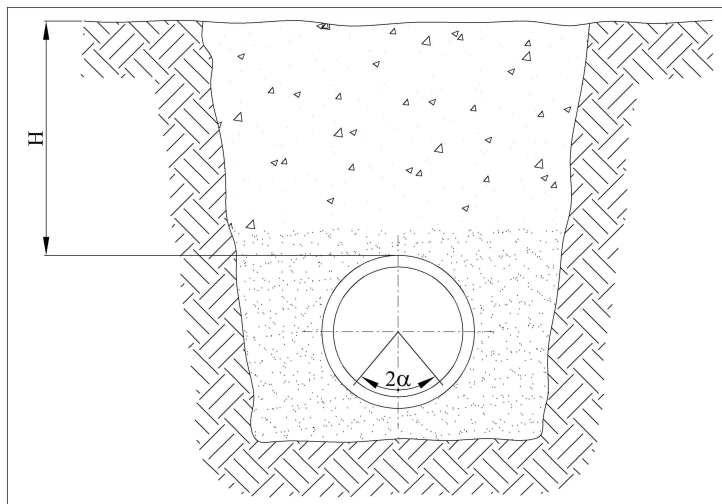



Figura 5.3 Individuazione dell'angolo di supporto

5. 2. 2 – METODO ATV-DVWK-A 127E

Il metodo di calcolo più completo e più utilizzato per la verifica statica delle tubazioni fognarie in Europa è il metodo proposto dall'ATV-DWK-A 127 E (*Static Calculation of Drains and Sewers)* dell'Agosto 2000. Tale metodo tiene conto in maniera molto dettagliata di tutti i casi che si possono incontrare nella pratica: vengono infatti presi in considerazione i vari tipi di materiale di ricopertura, le condizioni di compattazione del materiale che ricopre il tubo e del materiale di riempimento. Nei seguito sono esplicitate ed illustrate le formule relative al calcolo della deformazione ed alla pressione di imbozzamento.

La deformazione lineare della tubazione Δd_v è data dall'espressione:

$$\Delta d_v = \frac{c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh*} \cdot q_h^*}{S_R} \cdot 2r_m$$

dove:

c_v coefficienti di deformazioni;
q_v carico verticale dato dal carico del terreno, dal carico dell'eventuale carico statico al di sopra del suolo e dal carico dinamico dovuto al traffico;
q_h, q_h^* carichi laterali;
S_R rigidezza del tubo;
$2r_m$ diametro medio del tubo.

La deformazione percentuale δ_v è data dall'espressione:

$$\delta_v = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} 100 \text{ in } \%$$

Lo scopo del calcolo è quello di verificare se la deformazione a lungo termine risulta inferiore al limite indicato dall'ATV pari al 6%.

Il carico verticale q_v è dato dalla seguente formula:

$$q_V = \lambda_{PG} \cdot p_E + p_V = \lambda_{PG} \cdot (\kappa \cdot \chi_B \cdot h + \kappa_0 \cdot p_0) + p_V \quad \text{in kN/m}^2$$

dove:

λ_{PG} fattore di concentrazione attorno al tubo funzione della larghezza della trincea rispetto al tubo (valido per trincea stretta);
κ, κ_0 fattori di riduzione derivati dalla teoria del silo;
χ_B peso specifico del terreno attorno al tubo, in kN/m^3;
h altezza di copertura, in m;
p_0 carico statico sopra il suolo, in kN/m^2;
p_v carico dovuto al traffico, in kN/m^2

La pressione laterale q_h è dato dalla seguente formula:

$$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \chi_B \cdot \frac{d_e}{2} \right) \text{ in kN/m}^2$$

dove:

q_h	pressione dovuta alla sola presenza del materiale laterale al tubo;
K_2	costante che compensa i diversi approcci nella linearizzazione dei dati sperimentali che tengono conto della rigidità del sistema;
λ_B	fattore di concentrazione che tiene conto del rapporto tra la larghezza della trincea ed il diametro del tubo;
p_E	pressione verticale dovuta ai carichi superficiali;
χ_B	peso specifico del terreno in kN/m^3.

La pressione laterale di reazione del letto di posa q_h^* è definita come

$$q_h^* = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c^*_{h,qh}} \qquad \text{in kN/m}^2$$

dove:

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{Bh}} \text{ con } S_{Bh} = 0{,}6 \cdot \xi \cdot E2$$

C_{h1},C_{h2}	coefficienti di deformazione dipendenti dall'angolo di supporto;
V_{RB}	rigidezza del sistema data dal rapporto tra la rigidezza del tubo e la rigidezza orizzontale del letto di posa;
ξ	fattore di correzione della rigidezza orizzontale del letto di posa.

Oltre alla verifica alla deformazione, in alcuni casi è necessario verificare la resistenza all'imbozzamento o pressione di collasso del tubo; in particolare ciò è necessario nei casi in cui il tubo non è vincolato, come ad esempio nelle installazioni esterne in cui la testa del tubo è libera oppure quando durante la fase iniziale di ricopertura del tubo si utilizza agglomerato cementizio.

Il fattore di sicurezza ai fini dell'analisi sulla stabilità della tubazione è dato dal rapporto tra la pressione critica d'imbozzamento ed il carico verticale:

$$\chi = \frac{\text{crit } q_v}{q_v}$$

ove:

$$\text{crit } q_V = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot \sqrt{S_R \cdot S_{Bh}}$$

La verifica di instabilità risulta molto più importante laddove è presente una pressione esterna dovuta al battente idrostatico dell'acqua di falda. In questo caso il fattore di sicurezza è dato dalla seguente espressione:

$$\chi = \frac{\text{crit } p_e}{p_e}$$

ove:

$$\text{crit } p_e = \kappa_e \cdot \alpha_D \cdot S_R$$

ove α_D è il coefficiente di penetrazione, funzione dei valori V_{RB} e r_m/s come indicato nella figura 5.4.

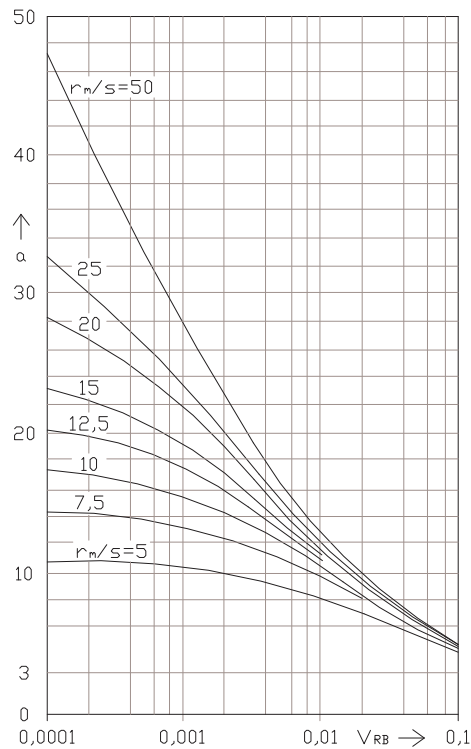



Figura 5.4: Coefficiente di penetrazione

La pressione dell'acqua esterna è la pressione idrostatica riferita all'asse del tubo

$$p_e = \chi_w \cdot h_w$$

L'azione simultanea del carico verticale e della pressione esterna dell'acqua porta alla definizione del coefficiente di sicurezza in funzione dell'imbozzamento, dato dalla seguente formula:

$$\chi = \frac{1}{\frac{q_v}{\text{crit } q_v} + \frac{p_e}{\text{crit } p_e}}$$

Il coefficiente nel caso di tubazioni in polietilene ad alta densità deve essere superiore a 2,5.

5. 2. 3 – IL METODO ATV NEL PROGRAMMA *Ecocalc*

Nel seguito viene riportata una guida per l'uso del foglio di calcolo presente all'interno del software *Ecocalc*: vengono indicate tutte le variabili che devono essere introdotte nel programma, le loro dimensioni, le loro unità di misura e gli eventuali commenti. L'esempio è relativo alle tubazioni serie DN/OD; le stesse indicazioni risultano ovviamente valide anche per le tubazioni *Ecopal*® normalizzate sul diametro interno.

1. Diametro esterno, in mm

DN	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1200**
D_e	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1200

Tabella 5.13: Diametri esterni delle tubazioni

2. Momento d'inerzia di parete, in cm^4/cm

DN	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1200**
J_4		0,050	0,138	0,254	0,523	1,009	1,984	4,069	7,823	15,376
J_8	0,030	0,058	0,275	0,552	1,107	2,007	4,034	8,460	15,942	28,557

Tabella 5.14: Momenti d'inerzia delle tubazioni

J_4 e J_8 si riferiscono ai tubi classificati rispettivamente con rigidezza nominale SN 4 e SN 8 kN/m^2. I momenti d'inerzia sono stati determinati sul profilo reale di produzione.

3. Altezza di ricopertura del tubo su estradosso, in m

La norma tedesca ATV non precisa l'altezza di ricopertura per i carichi statici, mentre per i carichi dinamici, indica come altezza minima di ricopertura 0,6 m, come specificato nelle norme EN 1295/2 e EN 1046. La norma francese Fascicolo 70 invece indica come valore minimo 0,8 m.

4. Larghezza trincea in corrispondenza della generatrice superiore del tubo, in m

Il programma di calcolo prevede una larghezza massima della trincea pari a quattro volte il diametro esterno della tubazione ed ipotizza le pareti dello scavo verticali.

5. Angolo di appoggio a fondo scavo, in gradi

Per il tubo *Ecopal*® si consiglia di usare il valore 180°. Detto valore si applica nel caso di un riempimento per almeno 30 cm sopra l'estradosso e di una compattazione eseguita a regola d'arte.

6. Carichi stradali, in kN

Sono considerati tre tipi d'automezzi, classificati in base al peso e all'area d'appoggio delle ruote, come indicato in tabella 5.15.

Veicolo standard	Carico totale	Carico per ruota	Area di appoggio per ruota	
	kN	kN	Larghezza in m	Lunghezza in m
HLC 60	600	100	0,6	0,2
HLC 30	300	50	0,4	0,2
HGV 12	120	40 posteriore 20 anteriore	0,3 0,2	0,2 0,2

Tabella 5.15: Carichi stradali in funzione della tipologia di mezzo

7. Modulo d'elasticità, in N/mm^2

L'ATV prevede due tipi d'approccio al calcolo della deformazione: uno basato sul modulo elastico del materiale e l'altro basato sulla rigidezza nominale del tubo considerato. Il programma *Ecocalc* si basa sulla prima possibilità. Il modulo di elasticità viene definito come rapporto tra lo sforzo applicato e la deformazione nella parte lineare della deformazione. Secondo l'ATV il valore del polietilene ad alta densità è pari a 800 N/mm^2 a breve termine e a 200 N/mm^2 a lungo termine (50 anni). Per quanto riguarda il polipropilene ad alto modulo, è possibile utilizzare un valore a lungo termine pari a a 300 N/mm^2.

8. Carico uniformemente distribuito sopra il tubo, in kN/m^2

I carichi uniformemente distribuiti sopra il tubo sono dovuti ad ammassamenti alla rinfusa di materiali o costruzioni a carattere temporaneo.

9. Gruppi di terreni

I terreni di riempimento sono classificati in 4 gruppi (da G1 a G4) sulla base di quanto definito nella precedente tabella 5.6. Il modulo elastico d'ogni gruppo dipende dal grado di compattazione e dall'angolo d'attrito interno del terreno. Per dare una visione degli ordini di grandezza in gioco, si indicano nella tabella 5.16 i pesi specifici, l'angolo d'attrito ed i moduli secanti E_S per i vari gruppi in funzione del grado di compattazione del terreno.

Gruppi di terreno	Peso specifico kN/m^3	Angolo d'attrito φ	Modulo E_S in base all'indice Proctor in N/mm^2					
			85%	90%	92%	95%	97%	100%
G1	20	35°	2,0	6	9	16	23	40
G2	20	30°	1,2	3	4	8	11	20
G3	20	25°	0,8	2	3	5	8	13
G4	20	20°	0,6	1,5	2	4	6	10

Tabella 5.16: Modulo secante in funzione della tipologia dei terreni

I terreni sono divisi in funzione della loro posizione rispetto alla tubazione in:
E_1: terreno di ricoprimento sopra il tubo;
E_2: terreno di riempimento intorno al tubo;
E_3: terreno esistente adiacente al terreno di ricoprimento e riempimento intorno al tubo;
E_4: terreno presente sotto il letto di posa del tubo.

Nella figura 5.5 sono indicati le diverse tipologie di terreno.

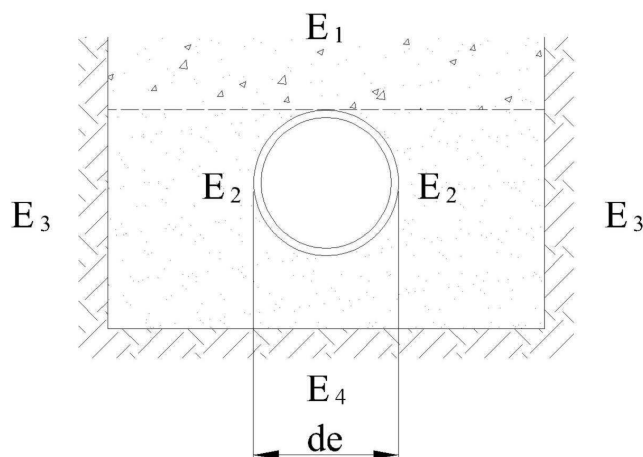



Figura 5.5: Individuazione dei diversi tipi di terreno

10. Condizione del terreno di riempimento

Le condizioni del terreno di riempimento sono quattro (da A1 a A4) e si differenziano tra loro per le modalità di riempimento della trincea al di sopra del tubo.

	Descrizione
A1	Il materiale di riempimento è compattato in strati contro il suolo naturale senza dimostrazione del grado di compattazione. Si applica anche nel caso in cui si usano le palancole portanti.
A2	Palancole di rivestimento verticale della trincea che sono estratte progressivamente durante il riempimento. Riempimento non compattato. Convogliamento a corrente fluida del riempimento (adatto solamente per suoli del gruppo G1).
A3	Palancole di rivestimento verticale della trincea che sono estratte dopo la compattazione.
A4	Il materiale di riempimento è compattato in strati contro il suolo naturale esistente con controllo del grado di compattazione come specificato nella ZTVE-StB. La condizione di riempimento A4 non è applicabile ai suoli del gruppo G4.

Tabella 5.17: Tipologia del terreno di riempimento.

11. Condizione del terreno di ricopertura (terreno attorno al tubo).

Le condizioni del terreno di ricopertura sono quattro (vanno da B1 a B4) e si differenziano tra loro per le modalità di stratificazione attorno al tubo.

	Descrizione
B1	Il materiale è compattato in strati senza dimostrazione del grado di compattazione.
B2	Ricopertura effettuata con l'ausilio di palancole e la compattazione è fatta *dopo* l'estrazione di queste.
B3	Ricopertura effettuata con l'ausilio di palancole e la compattazione è fatta *prima* dell'estrazione di queste.
B4	Il materiale è compattato in strati contro il terreno naturale con il controllo del grado di compattazione. Questa condizione non è applicabile ai suoli del gruppo G4

Tabella 5.18: Tipologia del terreno di ricopertura.

5. 2. 4 – INFLUENZA DELLA TRINCEA SULLA DEFORMAZIONE

In tutti i metodi di calcolo della deformazione di un tubo soggetto a carichi esterni, uno degli elementi chiave è la larghezza di trincea. A parità di altre condizioni, minore è la larghezza della trincea, maggiore è la resistenza della tubazione alla deformazione sottoposta ai carichi.

Per convenzione, il valore della larghezza di trincea è quello misurato in corrispondenza della generatrice superiore della tubazione. La deformazione dei tubi flessibili avviene, in assenza di sollecitazioni particolari, sul piano orizzontale passante per l'asse, laddove si verifica la reazione di "sostegno" data dal riempimento e dalle pareti di trincea. Il riferimento è tuttavia fatto sulla generatrice superiore, per tenere conto dell'effetto del rinfianco, in termini di pressione laterale, che si distribuisce su tutta la altezza del tubo.

Per quanto concerne la classificazione della trincea, la norma ATV individua come $4D_e$ il limite tra trincea stretta e trincea larga o terrapieno; in altra letteratura si trovano le seguenti definizioni:

trincea stretta	$B < 3D_e < H/2$
trincea larga	$3D_e < B < 10D_e < H/2$
trincea infinita o terrapieno	$B \geq 10D_e > H/2$

La variazione della deformazione non è lineare con la larghezza di trincea. In particolare il calcolo per trincea larga/terrapieno porta a valori superiori a quelli corrispondenti sia a $B = 4D_e$ che a $B = 10D_e$. Il concetto alla base di questo limite, che coinvolge anche una diversa formulazione di calcolo, è che, per distanze maggiori di un certo numero di volte il diametro della tubazione, il fianco della trincea cessa di reagire congiuntamente al riempimento, mentre interviene il carico del terreno circostante, assimilabile ad un carico idrostatico. Si

assume in pratica che la sola reazione in questo caso sia data dalla componente orizzontale del peso proprio del terreno limitrofo.

Risulta evidente dal diagramma riportato in figura 5.6 come la larghezza dello scavo influisca sulla deformazione a parità di altre condizioni. Nel caso in esame è stata considerata una tubazione *Ecopal* DN/OD 800 posta ad una profondità di 2 m, sottoposta a carichi pesanti e utilizzo come materiale di ricopertura lo stesso materiale di scavo (G3). All'aumentare della larghezza della trincea corrisponde un aumento della deformazione percentuale con tendenza asintotica. Nel caso in cui attorno al tubo il materiale presente in sito (G3) venga sostituito con materiale di qualità migliore (G1), la deformazione diminuisce all'aumentare della larghezza della trincea.

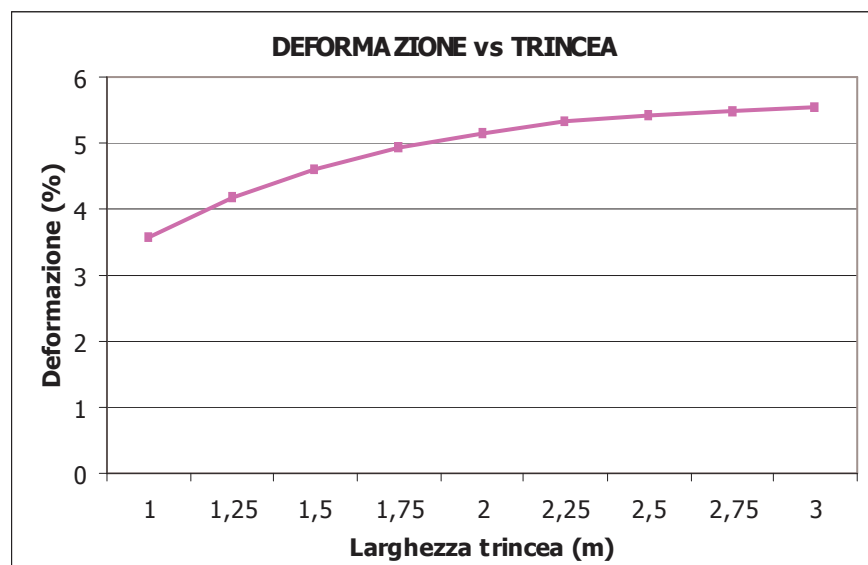



Figura 5.6: Influenza della trincea sulla deformazione

5. 3 – RAGGI DI CURVATURA E MOMENTI FLETTENTI

Per il calcolo dei raggi di curvatura si può assumere che lo spessore che reagisce al momento flettente sia lo spessore di saldatura delle due pareti (e_4); in questo caso si può determinare il raggio di curvatura minimo come:

$$R = \frac{E \cdot D_m}{2 \cdot \sigma}$$

dove:
R = raggio di curvatura, in m
E = modulo elastico del materiale, in Pa
$D_{m(e4)}$ = diametro medio, in m
σ = tensione applicata, in Pa.

Si ricavano quindi raggi di curvatura teorici dell'ordine di 13/14 diametri. E' necessario sottolineare come la presenza della costola non permetta il raggiungimento del valore teorico. I valori di R generalmente consigliati per il tubo *Ecopal*® sono 40/50 diametri.

5. 4 – INSTALLAZIONI SOSPESE

Nelle installazioni sospese è necessario stabilire la distanza degli appoggi in modo tale da non superare, nel tempo, la freccia massima di inflessione. Dal momento che il polietilene è un materiale viscoelastico, il tratto di tubazione sospesa subisce una deformazione nel tempo; di conseguenza è necessario calcolare il valore della freccia di inflessione che si genera nelle condizioni di esercizio, in base alla distanza dai supporti ed al modulo di elasticità a scorrimento. La distanza tra i supporti può variare anche dalle condizioni termiche in cui si trova la tubazione *Ecopal*®.

Per effettuare il calcolo della freccia di inflessione si considera il tubo *Ecopal*® incastrato agli estremi e sottoposto ad un carico uniformemente distribuito, dato generalmente dal peso del fluido trasportato. La freccia d'inflessione che si ottiene in mezzeria è espressa dalla formula seguente:

$$f_{\max} = \frac{1}{384} \frac{W_{tot} l^4}{E_c J} \qquad \text{in mm}$$

dove:
W_{tot} = carico totale che grava sul tubo in N/mm
l = distanza tra i supporti in mm
E_c = modulo di elasticità a flessione in N/mm^2
J = momento d'inerzia trasversale del tubo in mm^4/mm

Si consiglia di adottare un valore della freccia ammissibile non superiore al 3% della distanza tra i supporti. I supporti devono essere sempre posizionati in corrispondenza dei manicotti di collegamento o dei manicotti scorrevoli, in modo tale da lasciare alla tubazione la possibilità di muoversi.

CAPITOLO 6. PEZZI SPECIALI E POZZETTI

Il sistema *Ecopal*® è completato da una vasta gamma di pezzi speciali e pozzetti da abbinare alle tubazioni corrugate. Polieco ha ottenuto alla fine del 2003 la certificazione UNI EN ISO 9001:2008 non solo per la produzione dei tubi ma anche per la "*progettazione e produzione mediante stampaggio di raccordi, pezzi speciali e pozzetti in PE*".

I pezzi speciali sono ricavati tramite saldatura di tubo o tramite stampaggio ad iniezione. Le caratteristiche fisiche, meccaniche e prestazionali dei pezzi speciali rispecchiano sostanzialmente quelle già indicate per i tubi all'interno della norma UNI EN 13476.

Particolare attenzione è stata prestata da Polieco agli allacci. Il sistema *Ecopal*® non prevede selle che non assicurano, data la struttura e forma della costola, una buona tenuta; per questo motivo è stato predisposto un kit di innesto, composto da una guarnizione in EPDM e un bicchiere ad innesto. Questo particolare sistema è stato studiato per ovviare all'utilizzo di tee ridotti e/o braghe ridotte che implicano a priori la conoscenza esatta della posizione dell'allaccio oltre a presentare un costo di esecuzione decisamente elevato. Grazie all'utilizzo di questo sistema è possibile realizzare gli allacci anche in una fase successiva alla posa della tubazione principale.

Per quanto riguarda i pozzetti, Polieco può realizzare tre diverse tipologie:

- ✓ pozzetti a base stampata
- ✓ pozzetti realizzati da tubo
- ✓ tee stampati

I pozzetti a base stampata sono costituiti da una base stampata in PEMD a sezione circolare, ottenuta tramite procedimento di stampaggio rotazionale. Sono disponibili cinque tipologie di basi, in funzione della geometria della base, del diametro di tubazioni in ingresso ed uscita e del diametro del rialzo:

- ❑ pozzetto a 3 ingressi ID 400 per diametri fino a OD 200;
- ❑ pozzetto linea ID 600 per diametri fino a ID 300:
- ❑ pozzetto a 3 ingressi OD 630/800 per diametri fino a ID 300;
- ❑ pozzetto linea OD 1000/1200 per diametri fino a OD 630;
- ❑ pozzetto a 3 ingressi OD 1000/1200 per diametri fino a OD 500.

Ciascuna base presenta nella parte superiore una predisposizione tronco conica od un bicchiere in grado di ricevere un elemento di prolunga costituito da un tubo corrugato *Ecopal*®. La giunzione tra la base ed il rialzo può essere realizzata tramite una guarnizione o una saldatura.

La parte superiore dei pozzetti a base stampata DN/OD 1000-1200 può essere realizzata con un elemento riduttore conico in PEMD, ottenuto tramite stampaggio rotazionale ed innestato sull'elemento di prolunga atto a rastremare il pozzetto fino al DN 600 mm per il passo

d'uomo. E' possibile inoltre saldare sulla parete interna del pozzetto una scaletta costituita da montanti in polietilene e da gradini in acciaio rivestiti in polietilene.

I pozzetti a base stampata DN/OD 1000-1200 sono quindi composti dai seguenti elementi:

- base stampata DN 1000-1200
- mezzi manicotti predisposti per il collegamento delle tubazioni in ingresso ed uscita
- guarnizione a fascia posta tra la base stampata e la prolunga
- prolunga costituita da tubo corrugato in polietilene DN/OD 1000 o DN/OD 1200
- guarnizione posta tra la prolunga ed il riduttore conico DN/OD 1000 o DN/OD 1200
- riduttore conico DN/OD 1000 o DN/OD 1200

La base arriva già predisposta in cantiere con la foratura della base e la saldatura del mezzo manicotto relativo come da richiesta dell'impresa. Il collegamento tra base stampata e tubo è analogo al collegamento tra tubo e tubo; in questo modo vi è la garanzia di tenuta assoluta dell'intero sistema fognario, comprensivo anche dei pozzetti.

Il montaggio del pozzetto a base stampata in cantiere prevede le seguenti fasi:
1. collegamento tra la tubazione in ingresso/uscita e la base stampata: la tubazione deve essere spinta fino ad arrivare alla battuta interna del pozzetto;
2. posizionamento della guarnizione a fascia sulla predisposizione tronco conica della base stampata;
3. posizionamento della prolunga sopra la base fino al completo appoggio sulla base;
4. inserimento della guarnizione all'interno dello spazio tra le due ultime costolature della prolunga;
5. posizionamento del riduttore conico fino ad arrivare in battuta.

I *pozzetti realizzati da tubo* sono costituiti invece da tubi corrugati in polietilene opportunamente tagliati e saldati tra di loro. Il pozzetto può essere realizzato con fondo a canaletta nel caso in cui la tubazione sia passante o con il fondo piatto in caso contrario. Nel primo caso è anche previsto l'inserimento di alette all'interno del pozzetto costituite da lastre in polietilene inclinate di circa 8° rispetto all'orizzontale. Il fondo del pozzetto è costituito da una lastra sempre in polietilene saldata sulla parete interna del pozzetto di spessore differente in funzione della profondità di posa. Nel caso dei pozzetti realizzati su misura non vi sono limitazioni riguardanti il diametro della tubazione passante e vi è la possibilità di costruire pozzetti di ogni tipo su disegno del progettista (ad esempio pozzetti angolari, pozzetti di salto, pozzetti a più ingressi). Anche in questo caso la parte terminale del pozzetto può essere realizzata con un elemento riduttore conico in PEMD, ottenuto tramite stampaggio rotazionale ed innestato sull'elemento di prolunga atto a rastremare il pozzetto fino al DN 600 mm per il passo d'uomo. Sulla parete interna del pozzetto è possibile inoltre saldare una scaletta costituita da montanti in polietilene e da gradini in acciaio rivestiti in polietilene.

Negli ultimi anni nel mercato europeo si sta inoltre diffondendo l'utilizzo, come pozzetto, di un tee realizzato tramite procedimento di stampaggio rotazionale. Tale prodotto, bicchierato sui tre lati, è disponibile nei diametri dal DN/OD 630 al DN/OD 1200. Anche in questo caso, la parte superiore bicchierata accoglie i rialzi costituiti da tubo corrugato ed i riduttori conici (nel caso dei diametri DN/OD 1000 e DN/OD 1200).

L'utilizzo di pozzetti in polietilene consente di ottenere i seguenti vantaggi:

- creazione di un sistema integrato di fognatura costituito da uno stesso materiale che presenta le stesse caratteristiche di resistenza all'abrasione e di resistenza alle sostanze chimiche presenti nei reflui fognari;
- leggerezza, il che facilita la movimentazione, lo stoccaggio e la posa in opera in cantiere;
- garanzia di tenuta idraulica, grazie alla presenza delle guarnizioni di collegamento con le tubazioni passanti;
- possibilità di realizzazione di pozzetti a richiesta del progettista (ad esempio pozzetti angolari, pozzetti di salto, pozzetti a più entrate);
- facilità e velocità di posa;
- tempi di fornitura rapidi soprattutto nel caso dei pozzetti a base stampata;
- facilità di assemblaggio in cantiere;
- possibilità di innesto di tubazioni costituite da un diverso materiale (PE liscio, PVC, grès).

In particolare rispetto ai pozzetti in calcestruzzo normalmente utilizzati per le reti fognarie, i pozzetti in polietilene possono garantire:

- maggiore resistenza all'abrasione, il che permette una durata della vita dei pozzetti;
- maggiore resistenza all'aggressione chimica degli acidi e dei solventi: il polietilene con cui è prodotto il pozzetto è resistente ad acque con una vasta gamma di valori di pH, quali reflui domestici, acqua piovana, acque superficiali e di falda. Per quanto riguarda le acque industriali, il tubo resiste alla maggior parte dei prodotti chimici e solventi;
- minor peso, il che facilita e velocizza notevolmente le operazioni di movimentazione e posa in opera in cantiere, riducendo in questo modo i tempi finali di realizzazione dell'opera e soprattutto i rischi di incidenti;
- estrema versatilità, grazie al fatto che permette di realizzare un'ampia gamma di pozzetti (salto, angolari, più ingressi).

Nel caso di traffico veicolare, è consigliabile utilizzare piastre di ripartizione in calcestruzzo. Tali piastre, su cui poggiano i chiusini di ispezione in ghisa, trasferiscono i sovraccarichi

dovuti al traffico veicolare sul terreno compatto di rinfianco presente intorno al pozzetto e non direttamente sul rialzo o sul riduttore conico.

6. 1 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Negli ultimi anni parallelamente alle normative sulle tubazioni, la Commissione Europea ha sviluppato le normative sui pozzetti in materiale plastico. In particolare è stata predisposta una normativa EN 13598 divisa in due parti in funzione del diametro del rialzo e dell'applicazione del pozzetto:

Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage - Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE)

- *Part 1: Specifications for ancillary fittings including shallow inspection chambers*
- *Part 2: Specifications for manholes and inspection chambers in traffic areas and deep underground installations.*

La norma UNI EN 13598-1 è stata approvata nel settembre 2003, mentre la norma UNI EN 13598-2 è stata approvata nel gennaio 2009.

Polieco nel dicembre 2005, prima in Italia, ha ottenuto per i pozzetti a base stampata a tre ingressi DN/OD 630/800 il marchio rilasciato dall'Istituto Italiano dei Plastici per la conformità alla parte prima della norma suddetta.

La norma UNI EN 13598-1 è applicata per i pozzetti aventi le seguenti caratteristiche:

- profondità massima pari a 1,25 m;
- diametro interno rialzo inferiore a 800 mm;
- strade non trafficate.

In modo analogo a quanto presente nella norma relativa alle tubazioni, devono essere eseguite una serie di prove relative alle caratteristiche meccaniche, fisiche e funzionali dei pozzetti. Nella tabella 6.1 sono indicate le prove meccaniche a cui devono essere sottoposte le basi stampate definite nella norma UNI EN 13598-1.

Caratteristiche	**Prescrizioni**	**Parametri di prova**		**Metodi di prova**
		Parametri	**Valori**	
Rigidità elemento di rialzo	Nessuna rottura, rigidezza ≥ 0,7 kN/m²	Conforme alla norma EN ISO 9969		EN ISO 9969
Requisito del vuoto per la resistenza al terreno ed alla pressione dell'acqua una volta installati		Temperatura Durata test Pressione interna negativa	(23±2)°C 100 h -0,3 bar	EN 1277
Resistenza al carico verticale	La deformazione orizzontale non deve eccedere il 6% Deflessione coperchio conforme punto 4 norma EN 1253 Nessuna incrinatura	Forza per classe L	15 kN	EN 1253-2

Tabella 6.1: Caratteristiche meccaniche dei pozzetti

Per quanto riguarda la resistenza del rialzo viene richiesta una resistenza allo schiacciamento superiore a 0,7 kN/m^2; nel caso dei pozzetti Polieco viene normalmente utilizzato un tubo corrugato di classe SN 4 e di conseguenza superiore a 4 kN/m^2. Da sottolineare inoltre la prova di tenuta a –0,3 bar a cui deve essere sottoposta la base per un periodo di 100 ore.

Nella tabella 6.2 sono indicate le prove funzionali a cui devono essere sottoposti i pozzetti a base stampata in polietilene. In modo analogo a quanto visto per le tubazioni strutturate, la giunzione tra tubo e pozzetto viene sottoposta a tre diversi livelli di pressione:

- 0,05 bar corrispondente ad un funzionamento standard;
- 0,5 bar corrispondente ad un picco di portata;
- -0,3 bar corrispondente ad un funzionamento in presenza di falda.

Caratteristiche	**Prescrizioni**	**Parametri di prova**		**Metodi di prova**
		Caratteristiche	**Valori**	
Tenuta idraulica		Temperatura Deflessione tubo Defless. manicotto Differenza	(23 ± 2) °C 10 % 5 % 5 %	EN 1277 Cond. B
	Nessuna perdita	Press. acqua	0,05 bar	
	Nessuna perdita	Press. acqua	0,5 bar	
	≤ - 0,27 bar	Press. Aria	- 0,3 bar	

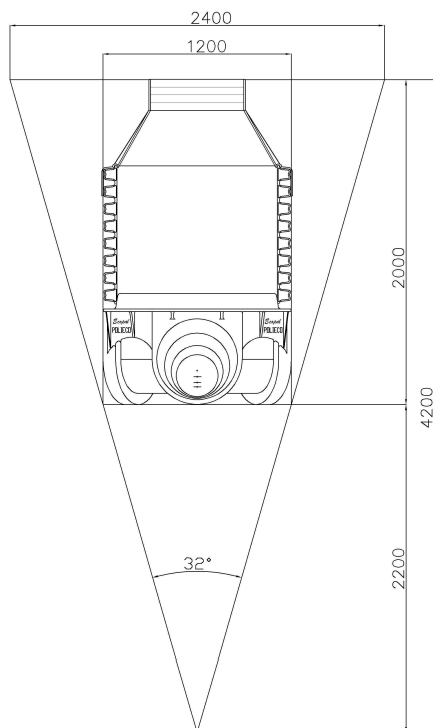
Tabella 6.2: Caratteristiche funzionali dei pozzetti

6. 2 – VERIFICA AL GALLEGGIAMENTO

I pozzetti in materiale plastico posti in terreni in cui è presente l’acqua di falda sono soggetti ad una spinta ascensionale pari al volume dell’acqua occupato. E’ necessario quindi effettuare uno studio per verificare che non subiscano fenomeni di galleggiamento anche se è giusto sottolineare che le basi stampate presentano una serie di caratteristiche che favoriscono la stabilità del pozzetto, quali una maggiore circonferenza della base, il rialzo costituito da un tubo corrugato ed il riduttore conico con una considerevole superficie d'appoggio.

Vi sono inoltre alcuni fattori che contribuiscono alla stabilità del pozzetto ma che non verranno presi in considerazione nel corso della verifica:

- ✓ il peso della soletta ripartitrice di carico e del chiusino;
- ✓ il peso proprio del pozzetto;
- ✓ la presenza dei tubi di entrata ed uscita, i quali devono tagliarsi o sfilarsi, prima che il pozzetto galleggi;
- ✓ l'attrito del terreno sulla superficie esterna;
- ✓ il peso del terreno sulla proiezione orizzontale.

Il pozzetto, come una fondazione, all'aumentare della profondità trasferisce il carico su di una superficie più ampia.

Nel seguito viene riportata la verifica al galleggiamento di un pozzetto a base stampata di diametro DN/OD 1200 di altezza pari a 2 m, rinfiancato con un terreno avente un peso specifico pari a 21000 N/m^3.

In via cautelativa è stato inoltre supposto che:

- il livello di falda arrivi fino alla superficie del terreno;
- l'angolo di attrito sia pari 16° (in realtà il materiale di rinterro da utilizzare, sabbia o ghiaia, presenta un valore compreso tra 25-34°);
- il pozzetto sia vuoto.

La spinta idrostatica è data dal peso del volume di acqua pari al volume del pozzetto; quindi si ha

- volume del riduttore conico: 0,19 m^3
- volume del rialzo e della base: 1,56 m^3

da cui la spinta idrostatica è pari a 17,5 kN

Le forze stabilizzanti sono date rispettivamente da:

- peso del terreno sulla proiezione orizzontale 5,39 KN
- peso del terreno all'interno delle corrugazioni 0,8 KN
- peso del cono di terreno circostante 34,9 KN

Il coefficiente di sicurezza dato dal rapporto tra forze stabilizzanti e spinta idrostatica è pari a:

$$\Sigma W/S=2,35 \ (>2)$$

CAPITOLO 7. UTILIZZO ED INSTALLAZIONE

Una corretta installazione è, insieme alla qualità ed alle caratteristiche del materiale, uno dei punti chiave del risultato finale. In questo capitolo sono illustrati le tipologie di collegamento dei tubi *Ecopal*® (manicotto e guarnizioni o saldatura), le indicazioni generali per una corretta posa, le modalità di esecuzione dei collaudi.

7. 1 – COLLEGAMENTO CON MANICOTTI

Le caratteristiche dei manicotti di giunzione prodotti da Polieco (lunghezza e spessori) sono conformi a quanto indicato nella norma UNI EN 13476. Sono prodotti in polietilene ad alta densità per stampaggio ad iniezione fino al diametro DN/OD 630 e per stampaggio rotazionale a partire dal DN/ID 600.

L'elemento geometrico determinante del manicotto è il diametro interno che deve essere congruente con il diametro esterno della tubazione *Ecopal*®. Polieco ha scelto di produrre i manicotti con lunghezze notevolmente superiori a quanto previsto dalla normativa così da permettere l'inserimento di almeno 2-3 costole dei tubi per parte ed assicurare la coassialità delle tubazioni. In questo modo vi è anche la possibilità di inserire una seconda guarnizione per parte al fine di avere un'ulteriore garanzia di tenuta idraulica.

La guarnizione è realizzata su specifico disegno progettato da Polieco in EPDM, materiale che presenta una resistenza alle sostanze chimiche presenti nei reflui fognari paragonabile a quella del polietilene. La guarnizione deve essere alloggiata tra le prime due costole (tra la seconda e la terza costola nel caso di tubi *Ecopal*® fino al diametro DN/OD 200) che seguono la testata del tubo, con il labbro rivolto nella direzione opposta a quello d'infilaggio. Oltre ad assicurare la tenuta dall'interno verso l'esterno, il labbro rivolto verso l'esterno assicura una resistenza ottimale alle infiltrazioni dovute all'acqua di falda.

La particolare forma e posizione della guarnizione e la lunghezza del manicotto garantiscono che in fase di infilaggio la guarnizione non venga danneggiata né si possa verificare una deviazione angolare tale da causare deformazioni differenziate e quindi perdite.

L'infilaggio deve avvenire previa lubrificazione dell'interno del manicotto. L'operazione deve essere eseguita con leve o comunque con una spinta od un tiro assiale costante, accertandosi del corretto imbocco ed evitando di dare colpi eccessivi che possono danneggiare le guarnizioni e/o il manicotto.

7. 2 – COLLEGAMENTO CON SALDATURA

Uno dei vantaggi del tubo *Ecopal*® è la possibilità di eseguire il collegamento con saldatura di testa: lo spessore entro le costole e la lunghezza tra le costole offrono la possibilità di realizzare una buona fusione. Visti gli spessori in gioco in ogni caso le operazioni di saldatura risultano delicate e necessitano di operatori qualificati muniti di apposito patentino per

saldatore. Non bisogna dimenticare inoltre che la saldatura testa a testa sigilla il tubo ma non offre una rigidità geometrica paragonabile al manicotto, perché lo spessore reale è inferiore a quello del tubo liscio avente pari rigidità circonferenziale.

Le tecnologie e le macchine di saldatura sono le stesse utilizzate per i tubi in polietilene liscio; in particolare i tempi e le pressioni sono le stesse impiegate per la saldatura di tubi aventi uno spessore sottile (PN 2,5 o PN 3,2). Ogni fornitore di apparecchiature per la saldatura fornisce una tabella nella quale sono indicate le temperature ed i tempi consigliati.

Un ciclo usualmente impiegato è quello sotto riportato:

1. preriscaldamento: formazione visiva del cordolo con altezza $(0{,}5+0{,}1 \cdot e_4)$ mm
2. riscaldamento : $t_2 = 15 \cdot e_4$, in s
3. rimozione del disco: $t_3 < 3 + 0{,}01 \cdot D_i$, in s
4. raggiungimento pressione di saldatura: $t_4 < 3 + 0{,}03 \cdot D_i$, in s
5. saldatura: $t_5 > 3 + e_4$, in s
6. raffreddamento: t_6 = raffreddamento completo, funzione dello spessore e della temperatura esterna.

La fase di riscaldamento va seguita con molta attenzione in modo da evitare di interessare anche la costola. La normativa italiana UNI 9737 fornisce le prescrizioni per la classificazione e qualificazione dei saldatori per materie plastiche per condotte di gas, che può ovviamente essere utilizzata anche per condotte in genere. Tale norma, insieme al quaderno d'istruzioni dell'Istituto Italiano della Saldatura *"La Saldatura del Polietilene"* possono costituire la base per un corretto utilizzo di questa tecnologia.

7. 3 – GUARNIZIONE IDROESPANDENTE NO-LOSS

Come noto, il punto critico di ogni condotta fognaria, realizzata con qualunque tipo di materiale, è rappresentato dal punto di giunzione. Il sistema di giunzione dei tubi corrugati in polietilene, oltre a permettere l'uso di barre da 6 o 12 metri e quindi ridurre sensibilmente il numero di giunzioni, è estremamente semplice e affidabile: una volta montata la guarnizione nell'incavo presente tra le ultime corrugazioni è sufficiente spingere il manicotto fino al raggiungimento della battuta interna. Nonostante l'intero sistema di giunzione sia certificato e sottoposto ad una serie di prove di tenuta idraulica in base alla normativa di riferimento, si possono verificare nella pratica alcuni inconvenienti accidentali che possono pregiudicare la tenuta idraulica del sistema.

L'efficienza del sistema di giunzione può essere infatti influenzata da eventi causati da errori umani, da scelte del materiale o delle modalità di riempimento non appropriate da parte degli installatori o da cedimenti del terreno presente intorno al tubo. La conseguenza di tutto questo è che già alcuni giorni dopo l'installazione possono verificarsi nel sistema idraulico problemi di tenuta, ovvero perdite o infiltrazioni. La presenza di perdite nei giunti causa una serie di problematiche dal punto di vista ambientale. Nel caso ad esempio di una rete fognaria nera (reflui fognari civili e industriali) l'eventuale presenza di perdite, dall'interno della tubazione verso l'ambiente esterno, può comportare il rischio elevato di inquinamento del terreno e della falda acquifera. Nel caso invece di una rete fognaria bianca (acque

meteoriche cadute su tetti, strade e parcheggi) le eventuali perdite possono causare cedimenti localizzati in prossimità della tubazione con ripercussioni nelle zone sovrastanti.

Se viceversa vi è infiltrazione di acqua di falda dall'esterno verso l'interno della tubazione, si può generare nel caso di reti fognarie miste un incremento della portata addotta all'impianto di depurazione oltre ad una diluizione dei carichi inquinanti. Il tutto potrebbe creare problemi di funzionamento all'impianto di depurazione, in particolar modo alla sua capacità depurativa. Una conseguenza diretta di questo fatto potrebbe essere un peggioramento della qualità dei carichi sversati nei corpi idrici superficiali.

In entrambi i casi quindi si possono avere ripercussioni pesanti sull'ambiente. Da non sottovalutare il fatto poi che in realtà i fenomeni possono essere anche concomitanti all'interno di una rete fognaria. Il reparto R&D di Polieco ha studiato e testato una soluzione che risolve queste problematiche: la guarnizione "no-loss".

La guarnizione "no-loss" interviene a garantire la tenuta idraulica del sistema, laddove per le più svariate ragioni la normale soluzione costituita dalla guarnizione in EPDM non garantisca la perfetta tenuta idraulica. La guarnizione "no-loss" possiede infatti la capacità, a contatto con l'acqua, di espandere il proprio volume di oltre tre volte; grazie a questa proprietà, in presenza di acqua, occupa tutto lo spazio presente tra le corrugazioni del tubo e la parete interna del manicotto. Parallelamente la guarnizione impedisce che l'eventuale acqua di falda possa venire a contatto con la guarnizione e quindi possa entrare all'interno della tubazione.

La guarnizione "no-loss" è costituita da un cordolo in gomma idrofila a sezione rettangolare posizionata nello spazio tra la seconda e la terza corrugazione del tubo corrugato. La gomma presenta una sezione tale da non superare il diametro esterno della tubazione e quindi tale da non essere di ostacolo durante il montaggio del manicotto. Il posizionamento della guarnizione no-loss tra la seconda e la terza corrugazione viene indicato nella figura 7.1.

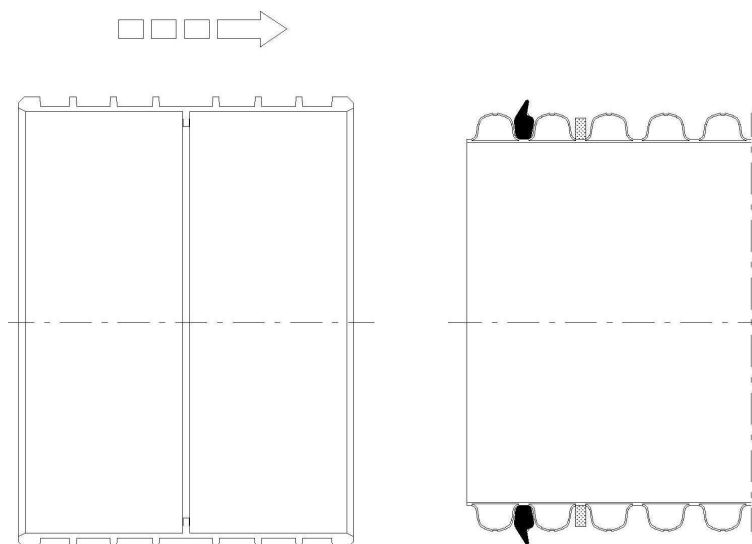
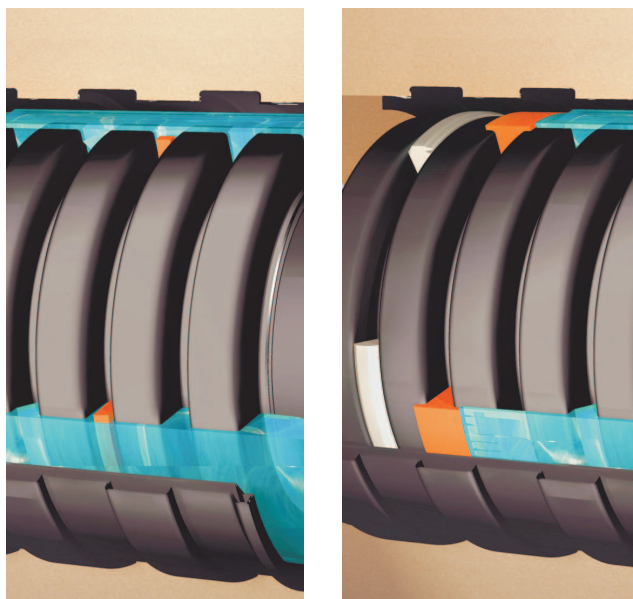



Figura 7.1: Posizionamento della guarnizione "no loss".

Il funzionamento della guarnizione "no-loss" una volta installata sulla tubazione ed immersa in acqua viene riportato a lato. La guarnizione inizia a rigonfiare già delle prime ore dopo il contatto con il liquido, fino ad arrivare al suo massimo volume definitivo prima delle 24 ore.

La guarnizione "no loss" mantiene le sue caratteristiche nel tempo anche se rimane costantemente immersa in acqua. Lo stesso accade anche nel caso in cui vi siano cicli di carico-scarico di acqua: se la guarnizione "no loss" rimane all'asciutto e poi viene nuovamente immersa in acqua ritorna ad espandersi fino ad arrivare al suo volume massimo.

La gomma idrofila è un prodotto che comunemente viene impiegato in edilizia per assicurare la tenuta idraulica delle riprese di getto di calcestruzzo, soprattutto nella realizzazione delle fondazioni; tale prodotto garantisce la sigillatura delle fessurazioni provocate dal ritiro del calcestruzzo o da movimenti della stessa struttura, sottoposta alla spinta dell'acqua. Nel campo delle reti idrauliche tale prodotto non aveva ancora mai trovato applicazioni pratiche.

Il sistema costituito da tubo corrugato/guarnizione in EPDM/guarnizione "no loss" viene proposto per tubazioni corrugate in polietilene aventi diametro esterno dal DN/OD 160 al DN/OD 800 mm (serie DN/OD) e aventi diametro interno dal DN/ID 300 al DN/ID 800 mm (serie DN/ID). La sezione della gomma idrofila aumenta con l'aumentare del diametro visto che è funzione dello spazio tra le corrugazioni. La guarnizione "no loss" viene tagliata, montata nella sede opportuna tra le corrugazioni della tubazione ed incollata in stabilimento; inoltre viene opportunamente protetta in modo tale che durante il trasporto il rigonfiamento non si attivi a contatto con l'acqua o l'umidità esterna. In cantiere l'impresa deve unicamente togliere la protezione posta sulla guarnizione "no loss", montare la guarnizione in EPDM e procedere al montaggio del manicotto.

7. 4 – INSTALLAZIONE E POSA

Nel presente paragrafo vengono fornite alcune indicazioni relative all'installazione e posa delle tubazioni corrugate in polietilene per reti fognarie. Risulta importante sottolineare come le fasi di trasporto, installazione e posa non si discostano da quelle relative alle altre tubazioni in materiale plastico.

In particolare nel seguito si richiamano i seguenti documenti:

- *Norme tecniche relative alle tubazioni* presenti nel Decreto del Ministero dei LL.PP. del 12 *Dicembre 1985;*
- *Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n° 27291 del 20 marzo 1986;*

- *Norma UNI EN 1610 (Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura*) del novembre 1999.

7. 4. 1 – TRASPORTO ED ACCETTAZIONE DEI TUBI

Il trasporto dei tubi *Ecopal*® avviene con le stesse modalità e condizioni di qualsiasi trasporto di tubazioni standard. Dato il peso limitato e la rilevante rigidezza circonferenziale, le tubazioni possono essere appoggiate direttamente una sopra l'altra senza inconvenienti.

I tubi fino al diametro DN/ID 500 mm sono forniti generalmente in bancale mentre dal diametro DN/OD 630 mm al diametro DN/OD 1200 mm sono consegnati sfusi.

All’atto del ricevimento si devono eseguire i controlli sulla corrispondenza della fornitura, in relazione alle prescrizioni dei capitolati ed ai termini contrattuali. L'accettazione dei tubi è regolata dalle prescrizioni dello specifico disciplinare di fornitura o capitolato speciale d’appalto.

Tutti i tubi, giunti e pezzi speciali devono arrivare in cantiere dotati di marcature o etichette indicanti la ditta costruttrice, il diametro nominale e la classe d’impiego. Polieco fornisce su richiesta i rapporti con i risultati delle prove eseguite presso il laboratorio interno relative alle materie prime utilizzate e al prodotto finito fornito. Le prove di collaudo dei tubi, dei giunti e dei pezzi speciali effettuati in azienda a controllo della produzione sono eseguiti secondo quanto prescritto dalla norma di riferimento con cadenze definite in accordo a quanto stabilito con gli enti di certificazione.

7. 4. 2 – SCARICO E STOCCAGGIO IN CANTIERE

Il carico, il trasporto, lo scarico e tutte le manovre connesse devono essere eseguite con la maggiore cura possibile, adoperando mezzi idonei a seconda del tipo e del diametro dei tubi ed adottando tutti gli accorgimenti necessari al fine di evitare rotture, incrinature, lesioni o danneggiamenti in genere.

Si devono evitare urti, inflessioni o sporgenze eccessive, strisciamenti, contatti con corpi che possano provocare danneggiamenti o deformazioni dei tubi.

Nei cantieri si devono predisporre i mezzi idonei ed i piani d'appoggio per ricevere i tubi, i pezzi speciali e gli accessori da installare. Lo scarico deve avvenire o direttamente con l'intero bancale o singolarmente in base alle modalità di trasporto.

Nel caso di tubi corrugati occorre evitare l'uso di ganci alle estremità ed è consigliabile sempre l'uso di fasce in materiale non abrasivo o funi in canapa.

7. 4. 3 – ACCATASTAMENTO DEI TUBI

L'accatastamento deve essere eseguito disponendo i tubi su un'area piana, stabile, protetta al fine di evitare pericoli d'incendio e riparata dai raggi solari nel caso di tubi soggetti a deformazioni determinati da sensibili variazioni termiche. La base delle cataste deve poggiare su tavole opportunamente distanziate o su letto d'appoggio. L'altezza sarà contenuta entro i limiti adeguati ai diametri, per evitare deformazioni nelle tubazioni alla base e per consentire un'agevole movimentazione. I tubi accatastati dovranno essere bloccati con cunei onde evitare improvvisi rotolamenti. In ogni caso, provvedimenti di protezione devono essere adottati per evitare che le testate dei tubi subiscano danneggiamenti. Il primo strato di tubazioni che poggia sul terreno, deve essere sistemato su uno strato uniforme in modo d'evitare possibili danni alla superficie esterna del tubo e flessioni.

I giunti, le guarnizioni ed i materiali in genere, se deteriorabili, dovranno essere posti, fino al momento del loro impiego, in spazi chiusi, entro contenitori protetti dai raggi solari o da sorgenti di calore, dal contatto con olii o grassi e non sottoposti a carichi. Nel caso in cui i tubi devono essere sfilati lungo il tracciato si devono seguire i criteri analoghi a quelli indicati per lo scarico ed il trasporto e si deve evitare qualsiasi manovra di strisciamento.

7. 4. 4 – SCAVI

Se si esamina la normativa europea ci si rende conto che la configurazione degli scavi per l'alloggiamento di fognature deve rispettare precise prescrizioni.

La prima raccomandazione è di prescrivere nei capitolati l'utilizzo della trincea stretta di larghezza pari a 2-3 volte il diametro, almeno fino ad 1 m sopra la generatrice superiore del tubo. Le pareti devono essere le più possibili verticali, almeno in tale zona, ed eventualmente stabilizzate con sbadacchiature o palancole, per la protezione del personale che lavora nello scavo. Le palancole devono essere spostate subito dopo il rinterro parziale e prima delle operazioni di costipamento. Nel caso di terrapieno o trincea larga, sarebbe opportuno predisporre una zona di contrasto al materiale di copertura in modo da riportarsi verso la situazione di trincea stretta.

Limiti sono previsti per quanto riguarda le dimensioni minime della trincea: la larghezza minima, secondo quanto specificato nella norma UNI EN 1610 (*Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura*), deve essere il valore più grande fra quelli indicati nelle tabella 7.1 e 7.2.

DN	Larghezza minima delle trincea (OD + x) in m		
	Trincea supportata	Trincea non supportata	
		β> 60°	β≤ 60°
≤ 225	OD + 0,40	OD + 0,40	
225 < DN ≤ 350	OD + 0,50	OD + 0,50	OD + 0,40
350 < DN ≤ 700	OD + 0,70	OD + 0,70	OD + 0,40
700 < DN ≤ 1200	OD + 0,85	OD + 0,85	OD + 0,40
	OD + 1,00	OD + 1,00	OD + 0,40

Tabella 7.1: Larghezza minima della trincea in relazione alle dimensioni nominali DN

Profondità della trincea	Larghezza minima delle trincea in m
< 1,00	non è richiesta
1,00 ≤ p ≤ 1,75	0,80
1,75 ≤ p ≤ 4,00	0,90
p > 4,00	1,00

Tabella 7.2: Larghezza minima della trincea in relazione alla profondità della trincea

Nel caso in cui siano previste due o più tubazioni posate nella stessa trincea, la normativa specifica che è necessario rispettare una distanza orizzontale minima tra le due tubazioni pari a:

- 0,35 metri fino al DN 700 compreso;
- 0,50 metri per tubi maggiori di DN 700.

7. 4. 5 – LETTO DI POSA

Come specificato nel Decreto Ministeriale citato in precedenza, una volta controllati accuratamente i tubi, i giunti ed i pezzi speciali ed eliminati o sostituiti quelli che dovessero risultare danneggiati, si può procedere alla posa in opera. Per il sollevamento e la posa dei tubi in scavo, in rilievo o su appoggi, si devono adottare le stesse modalità usate per le operazioni precedenti, tenendo presente di non danneggiare le superfici dei tubi, impiegando mezzi adatti secondo il diametro. Nell'operazione di posa si dovrà evitare che, all'interno delle condotte, penetrino detriti o corpi estranei di qualunque natura e che venga comunque danneggiata la superficie interna.

In primo luogo si deve verificare che il letto sia spianato e livellato eliminando ogni asperità che possa danneggiare i tubi. Ove si renda necessario costituire il letto di posa o impiegare per il primo rinterro materiali diversi da quelli provenienti dallo scavo, è necessario eliminare i materiali capaci di danneggiare il tubo durante la posa. In nessun caso è consentito regolare la posizione dei tubi nella trincea utilizzando pietre o mattoni od altri appoggi discontinui. Il piano di posa deve garantire un'assoluta continuità d'appoggio e, nei tratti in cui si temano assestamenti, si devono adottare particolari accorgimenti quali l'impiego di giunti adeguati o trattamenti speciali del fondo della trincea.

Nel caso particolare in cui il fondo scavo si presenti con materiale soffice e senza detriti duri o sassi, il tubo *Ecopal*® può essere installato direttamente sul fondo scavo, purché la livelletta sia corretta. In generale è opportuno realizzare un letto di sabbia o ghiaia di piccola pezzatura, mai materiale che presenta spigoli vivi, evitando così che la sommità della costola vada poggiare sul terreno di scavo. Come specificato nella norma UNI EN 1610 lo spessore del letto di posa non deve essere minore di:

- 100 mm in condizioni di terreno normale;
- 150 mm in roccia o in condizioni di terreno duro.

I tubi che nell'operazione di posa avessero subito danneggiamenti dovranno essere riparati o meglio sostituiti secondo la gravità del danneggiamento.

7. 4. 6 – INSTALLAZIONE

Il tubo *Ecopal*® viene collegato con manicotti generalmente sul fondo scavo. Data la leggerezza della tubazione, vi è anche la possibilità di eseguire la giunzione fuori scavo per poi calare la tubazione sul fondo scavo. In ogni caso prima dell'esecuzione della giunzione, le estremità dei tubi e dei pezzi speciali da giuntare e le eventuali guarnizioni devono essere perfettamente pulite. Ogni qualvolta si posa e si collega una barra da 6 o 12 m, è necessario inoltre verificare la pendenza e l'allineamento.

In sede di posa particolare attenzione va posta alle eventuali dilatazioni, anche se l'allungamento del tubo *Ecopal*® è nettamente inferiore (circa il 50%) rispetto a quello dei tubi in polietilene a parete piena. Nel caso di collegamento con manicotti, potrebbero teoricamente presentarsi fenomeni di sfilamento; occorre avere in questo caso l'avvertenza di bloccare con un riempimento parziale il tubo ogni 30÷40 m e, previo controllo degli eventuali movimenti, completare il riempimento dello scavo nelle ore più fresche della giornata.

È comunque da tenere presente che, una volta effettuato correttamente il riempimento, non sono prevedibili spostamenti in senso longitudinale in quanto il terreno compattato attorno alle costole si oppone a qualsiasi effetto della dilatazione.

7. 4. 7 – RIEMPIMENTO DELLO SCAVO

Il riempimento dello scavo costituisce un'operazione delicata ed importante nell'installazione di tutti i tubi da fognatura. Un riempimento senza adeguata compattazione influisce negativamente sia sui tubi rigidi sia sui tubi flessibili.
Una compattazione eseguita senza i necessari accorgimenti può portare a rotture; durante ispezioni televisive eseguite dopo l'installazione, si sono visti collettori in cemento, grès e anche PVC distrutti prima ancora di entrare in esercizio.

Indipendentemente dal tipo di tubo da posare, le operazioni che portano ad una corretta e duratura installazione sono:

1) *scelta del corretto materiale di riempimento: il materiale deve essere arido, a bassa granulometria, privo di materiale a spigoli vivi, sassi o detriti almeno nella parte a contatto col tubo e fino ad almeno 30 cm al di sopra di esso.*

2) *compattazione accurata: la compattazione deve essere eseguita in strati successivi di circa 30 cm di spessore, con attrezzature idonee fino ad almeno un metro di copertura sull'estradosso superiore. Una buona compattazione dovrebbe raggiungere un indice di Proctor di 90–92 %. Il primo strato di rinfianco deve superare il semidiametro del tubo per evitare sollevamenti dello stesso, altrimenti occorre prevedere un bloccaggio temporaneo durante la compattazione dello stesso. Secondo gli standard tedeschi dopo la copertura con materiale adeguato per almeno 1 metro sopra l'estradosso del tubo si può utilizzare, per il completamento del riempimento, lo stesso materiale proveniente dallo scavo.*

3) *compattazione regolare: si deve evitare di compattare in modo discontinuo per evitare disassamenti e quindi sforzi sui giunti o curvature anomale del corpo tubo.*

4) *mezzi per la compattazione: fino ad un metro sopra l'estradosso del tubo, la compattazione deve essere eseguita con mezzi leggeri, al di sopra con mezzi normali. Bisogna porre attenzione a non esagerare eseguendo la compattazione con mezzi pesanti di tipo stradale senza calcolare l'effetto del carico dinamico sul tubo sottostante.*

La tabella 7.3, tratta dalla norma UNI ENV 1046, riporta i valori massimi dello spessore raccomandato degli strati ed il numero di passaggi necessari per ottenere le classi di compattazione in base all'attrezzatura utilizzata ed ai materiali di riempimento intorno al

tubo. Sono inoltre indicati gli spessori minimi raccomandati di copertura necessari sopra il tubo prima che i corrispondenti tipi di attrezzatura possano essere utilizzati sopra il tubo.

Metodo di costipamento	*Numero di passaggi per le varie classi di compattazione*			*Spessore dopo compattazione per le varie classi di terreno, m*				*Spessore minimo prima compattazione m*
	W (buona)	M (media)	N (senza)	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3	Gruppo 4	Gruppi 1-4
Mazza a mano 15 kg	3	1	0	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20
Mazza vibrante 70 kg	3	1	0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,35
Vibratore piatto								
50 kg	4	1	0	0,10	--	--	--	0,15
100 kg	4	1	0	0,15	0,10	--	--	0,20
200 kg	4	1	0	0,20	0,15	0,10	--	0,25
400 kg	4	1	0	0,30	0,25	0,15	0,10	0,35
600 kg	4	1	0	0,40	0,30	0,20	0,15	0,50
Rullo vibrante								
15 kN/m	6	2	0	0,35	0,25	0,20	--	0,60
30 kN/m	6	2	0	0,60	0,50	0,30	--	1,20
45 kN/m	6	2	0	1,00	0,75	0,40	--	1,80
65 kN/m	6	2	0	1,50	1,10	0,60	--	2,40
Rullo doppio vibr.								
5 kN/m	6	2	0	0,15	0,10	--	--	0,20
10 kN/m	6	2	0	0,25	0,20	0,15	--	0,45
20 kN/m	6	2	0	0,35	0,30	0,20	--	0,60
30 kN/m	6	2	0	0,50	0,40	0,30	--	0,85
Rullo triplo pes., senza vibrazione 50 kN/m	6	2	0	0,25	0,20	0,20	--	1,00

Tabella 7.3: Spessori raccomandati degli strati e numero di passi per la compattazione

7. 4. 8 – POSA IN PRESENZA D'ACQUA DI FALDA

La posa in presenza d’acqua di falda deve essere eseguita in condizioni di fondo scavo asciutto, per assicurare la creazione del letto di posa e la corretta assegnazione della pendenza. È necessario l’impiego di sistemi di well-point per estrarre l’acqua in esubero e permettere la posa nelle condizioni sopra citate.

Come chiaramente intuibile, Ecopal® come altri tipi di tubi strutturati in materiale plastico, presenta una spinta di galleggiamento una volta immerso in acqua. Il riempimento deve impedire fenomeni di galleggiamento o di collasso delle pareti. La granulometria del materiale di ripiena deve infine essere tale da prevenire una migrazione delle particelle verso

il terreno adiacente o viceversa. La migrazione può essere prevenuta ponendo del tessuto da filtro appropriato (membrana geotessile).

7. 5 – COLLAUDO IDRAULICO

Come specificato nella norma UNI EN 13476 il sistema tubazione-manicotto *Ecopal*® è garantito per resistere ad una pressione di 0,5 bar e ad una pressione di –0,3 bar alla temperatura di 23 °C per 15 minuti. Tali condizioni sono garantite anche nel caso in cui si abbia una deflessione diametrale (pari al 10% del tubo e al 5% del manicotto) o una deflessione angolare del sistema (variabile, secondo il diametro, da 2° a 1°).

In ogni caso è necessario porre attenzione a non causare deformazioni iniziali rilevanti in fase di riempimento e compattazione. È sempre opportuno eseguire un collaudo idraulico di tenuta sulla condotta installata.

Il collaudo deve essere eseguito secondo quanto specificato nella norma italiana UNI EN 1610 (*Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura*). La norma prevede la possibilità di eseguire la prova ad acqua (metodo "W") o ad aria (metodo "L"): la scelta di quale metodo adottare deve essere indicata dal progettista.

Nel caso della prova ad aria le attrezzature necessarie per lo svolgimento della prova di collaudo, consistono in una serie di palloni di gomma che dovranno aderire alla parete interna della tubazione, un compressore, un manometro collegato ad un rilevatore con diagramma. La prova consiste nel posizionare a valle e a monte del tratto considerato due palloni di tenuta per la chiusura della sezione di deflusso. Uno dei due palloni è dotato di una valvola passante per il riempimento d'aria nella condotta, collegata ad un'attrezzatura esterna di registrazione e rilievo. La normativa prevede quattro metodi di prova (LA, LB, LC e LD) che prevedono rispettivamente un incremento delle pressioni di prova ed un decremento dei tempi di prova. La pressione di prova, la caduta di pressione ed i tempi di collaudo per i collaudi ad aria per i tubi di calcestruzzo impregnato e per tutti gli altri materiali è riportata nella tabella 6.4.

	po	**Δp**	**Tempo di prova (min)**						
	mbar	**mbar**	**DN 100**	**DN 200**	**DN 300**	**DN 400**	**DN 600**	**DN 800**	**DN 1000**
LA	10	2,5	5	5	7	10	14	19	24
LB	50	10	4	4	6	7	11	15	19
LC	100	15	3	3	4	5	8	11	14
LD	200	15	1,5	1,5	2	2,5	4	5	7

Tabella 7.4: Dati relativi al collaudo ad aria

Le fasi per l'esecuzione del collaudo prevedono di:

- ✓ mantenere per circa 5 minuti una pressione iniziale maggiore di circa il 10% della pressione di prova richiesta;
- ✓ adeguare la pressione alla pressione di prova indicata nella tabella 6.4;

- ✓ verificare se la perdita misurata dopo il tempo di prova è minore del Δp indicato nella tabella 6.4.

La registrazione dei livelli di pressione in funzione del tempo è immediatamente visualizzata a monitor e stampata o memorizzata su un diagramma "tempo-pressione".

Nel caso della prova ad acqua, la pressione di prova da considerare è la pressione equivalente o risultante dal riempimento della sezione di prova fino al livello del terreno in corrispondenza dei pozzetti a valle o a monte con una pressione massima di 50 kPa (0,5 bar) e una pressione minima di 10 kPA misurata sulla generatrice superiore del tubo.

Le fasi per l'esecuzione del collaudo prevedono di:

- ✓ riempire la condotta fino ad arrivare alla pressione di prova richiesta;
- ✓ attendere un tempo di circa 1 ora, necessario per l'impregnamento della tubazione;
- ✓ mantenere la pressione entro 1 Kpa della pressione di prova rabboccando con acqua;
- ✓ misurare e registrare la quantità totale di acqua aggiunta per mantenere il livello dell'acqua che corrisponde alla pressione di prova richiesta;
- ✓ verificare che la quantità di acqua aggiunta in 30 minuti non sia maggiore di
  0,15 l/m^2 per le tubazioni
  0,20 l/m^2 per le tubazioni che comprendono anche i pozzetti
  0,40 l/m^2 per i pozzetti e le camere di ispezione
  ove i m^2 si riferiscono alla superficie interna bagnata.

Resistenza del polietilene alle sostanze chimiche

	Buona	**Media**	**Debole**
Rigonfiamento	**< 3%**	**3 - 8 %**	**> 8%**
Perdita di carico	**< 0,5 %**	**0,5 - 5%**	**> 5%**
Allungamento alla rottura	**invariata**	**diminuzione <50%**	**diminuzione >50%**

Agenti Chimici	**Resistenza a 20°C**			**Resistenza a 60°C**		
	Buona	**Media**	**Debole**	**Buona**	**Media**	**Debole**
Acetato di amile	•			•		
Acetato di butile	•				•	
Acetone	•			•		
Acidi aromatici	•			•		
Acidi grassi (superiori a C6)	•				•	
Acido acetico (10%)	•			•		
Acido acetico glaciale (100%)	•				• (D)	
Acido benzoico*	•			•		
Acido borico*	•			•		
Acido bromidico (50%)	•			•		
Acido butirrico	•				•	
Acido carbonico	•			•		
Acido cianidrico	•			•		
Acido citrico	•			•		
Acido cloridrico (tutte le concentrazioni)	•			•		
Acido cromico (80%)	•					• (D)
Acido dicloroacetico (50%)	•			•		
Acido dicloroacetico (100%)	•				• (D)	
Acido fluoridrico (40-70%)	•				•	
Acido formico	•			•		
Acido fosforico (50%)	•			•		
Acido fosforico (95%)	•				• (D)	
Acido ftalico (50%)	•			•		
Acido glicolico (55-70%)	•			•		
Acido lattico (96%)	•			•		
Acido maleico	•			•		
Acido monocloroacetico	•			•		
Acido nitrico (25%)	•			•		
Acido nitrico (50-70%)		•				• (D)
Acido oleico (concentrato)	•				•	
Acido ossalico (50%)	•			•		
Acido perclorico (20%)	•			•		
Acido perclorico (50%)	•				•	
Acido perclorico (70%)	•					• (D)
Acido propionico (50%)	•			•		
Acido propionico (100%)	•				•	
Acido silicico	•			•		
Acido solfidrico (idrogeno solforato)	•			•		
Acido solfocromico			•			•
Acido solforico (50%)	•			•		
Acido solforico (98%)	•					• (D)
Acido solforoso	•			•		

Agenti Chimici	Resistenza a 20°C			Resistenza a 60°C		
	Buona	Media	Debole	Buona	Media	Debole
Acido stearico	•				•	
Acido succinico (50%)	•			•		
Acido tartarico	•			•		
Acido tricloroacetico (50%)	•			•		
Acido tricloroacetico (100%)	•					•
Acqua di mare	•			•		
Acqua ossigenata (30%)	•			•		
Acqua ossigenata (100%)	•					•
Acqua ragia	•					•
Acrilonitrile	•			•		
Alcool allilico	•			•		
Alcool benzilico	•			•		
Alcool butilico	•					
Alcool etilico (96%)	•			•		
Alcool furfurilico	•			• (D)		
Alcool isopropilico	•			•		
Alcool metossibutilico	•				•	
Aldeide acetica	•				•	
Allume	•			•		
Ammoniaca*	•			•		
Anidride acetica	•				• (D)	
Anidride solforica		•			•	
Anidride solforosa	•			•		
Anilina	•				•	
Benzaldeide	•			•		
Benzene		•			•	
Benzina	•				•	
Benzoato di sodio	•			•		
Bicromato di potassio (40%)	•			•		
Borace*	•			•		
Borato di sodio	•			•		
Bromo			•			•
Canfora	•				•	
Carbonato di sodio	•			•		
Chetoni	•			•		
Cicloesano	•			•		
Cicloesanolo	•			•		
Cicloesanone	•				•	
Clorito di sodio (50%)	•			•		
Clorobenzene		•				•
Cloroformio			•			•
Cloro liquido e gassoso			•			•
Cloruro di alluminio*	•			•		
Cloruro di ammonio*	•			•		
Cloruro di antimonio*	•			•		
Cloruro di calcio*	•			•		
Cloruro ferrico*	•			•		
Cloruro di magnesio*	•			•		

Agenti Chimici	Resistenza a 20°C			Resistenza a 60°C		
	Buona	Media	Debole	Buona	Media	Debole
Cloruro di metilene*			•			•
Cloruro di potassio*	•			•		
Cloruro di sodio	•			•		
Cloruro di solforile			•			
Cloruro di tionile			•			
Cloruro di zinco	•			•		
Cresolo	•			• (D)		
Decalina	•				•	
Detergenti	•			•		
Diclorobenzene (para)		•				•
Dicloroetano		•			•	
Dicloroetilene			•			•
Diossano	•			•		
Epicloridrina	•			•		
Essenza di trementina	•				•	
Esteri alifatici	•				•	
Etere		•			•	
Etere di etilico		•			•	
Etere di petrolio	•				•	
Fenoli	•			• (D)		
Fluoro			•			•
Formaldeide (40%)	•			•		
Fosfati*	•			•		
Ftalato di butile	•				•	
Gelatina	•			•		
Glicerina	•			•		
Glicol	•			•		
Glicol butilico	•			•		
Ipoclorito di calcio*	•			•		
Ipoclorito di sodio*	•			•		
Iso-ottano	•				•	
Lievito	•			•		
Liscive	•					•
Marmellata	•			•		
Melassa	•			•		
Mercurio	•			•		
Metanolo	•			•		
Metiletilchetone	•					•
Metiglicol	•			•		
Morfolina	•			•		
Nafta (benzina pesante)	•				•	
Naftalina	•				•	
Nitrato di argento	•			•		
Nitrato di sodio*	•			•		
Oleum			•			•
Olii essenziali		•			•	
Olii minerali	•			•		
Olii di paraffina	•			•		

Agenti Chimici	Resistenza a 20°C			Resistenza a 60°C		
	Buona	Media	Debole	Buona	Media	Debole
Olii vegetali e animali	•				•	
Olio di silicone	•			•		
Ossicloruro di fosforo	•				•	
Ozono		•				•
Pentossido di fosforo	•			•		
Permanganato di potassio	•			• (D)		
Petrolio	•				•	
Piridina	•				•	
Poliglicoli	•			•		
Potassa caustica	•			•		
Rilevatori fotografici	•			•		
Salamoia	•			•		
Sali di nickel*	•			•		
Sali di rame*	•			•		
Sciroppi	•			•		
Sego	•			•		
Silicato di sodio*	•			•		
Soda caustica (lisciva)	•			•		
Solfati metallici	•			•		
Solfuro di carbonio					•	
Solfuro di sodio*	•			•		
Succhi di frutta	•			•		
Tetracloruro di carbonio			•			•
Tetraidrofurano	•	•				•
Tetralina	•			•	• (D)	
Tintura di iodio	•					
Tiofene		•			•	
Tiosolfato di sodio	•			•		
Toluene		•				•
Tricloroetilene			•			•
Tricloruro di antimonio	•			•		
Tricloruro di fosforo	•				•	
Trietanolamina	•			•		
Vapore acqueo	•			•		
Vaselina		•			•	
Xilolo		•				•
Zolfo	•			•		

* in soluzione
(D) diluito

Termini usati nel manuale e relative unità di misura

SIGLA	DESCRIZIONE	NOTE
CEN	Comitato Europeo Normalizzazione	indica norme in preparazione
EN	Normativa europea	
ISO	Normativa Internazionale	
UNI	Normativa Italiana	
DIN	Normativa Tedesca	
ASTM	Normativa Americana	
ATV	Abwassertechnisches Vereinigung, Associazione tecnica per le fognature, tedesca	

SIMBOLO		UNITÀ DI MISURA	EQUIVALENZE/NOTE	
A	Superficie	m^2		
B	Larghezza trincea	m	a livello estradosso superiore	
c_T	Coefficiente di dilatazione termica	$°C^{-1}$		
C	Coefficiente di carico del terreno			
d_l	Fattore di autocompattazione	------	applicato al carico del terreno	
D_e, D_i, D_m	Diametro esterno, interno, medio	m, mm		
e_4 , e_5 , s	Spessori del tubo *Ecopal*	mm	vedere profilo	
e [terreno]	Modulo del terreno	$N{\cdot}m/m^2$		
e [idraul]	Scabrezza relativa	----	k/D_i	
E	Modulo di elasticità del materiale	N/mm^2	10,19716 kg_f/cm^2	
E’	Modulo secante del terreno	kN/m^2	1000 N/m^2	
F , p	Forza - Peso	kg_f [forza]	1000 g_f	9,80665 N
	Accelerazione di gravità	N		0,1019716 kg_f
G	Accelerazione di gravità	m/s^2	9,81	
Δh	Perdita di carico unitaria (idr.)	$m/m = 10^2\ m/100\ m = 10^3\ m/1000\ m$		
H, H	Perdita di carico totale (idr.)	m	$= \Delta h{\cdot}L$	
H	Altezza copertura	m	da estradosso superiore	
I	Momento d’inerzia di parete	m^4/m	$10^9\ mm^4/mm$; $10^6\ cm^4/cm$	
J	Cadente idraulica	$m/m = 10^2\ m/100\ m = 10^3\ m/1000\ m$		
k, k_B	Scabrezza assoluta	mm		
K	Coefficiente di Rankine		=(1-senφ/(1+z e cosφ	
K_x	Costante di fondo	------	dipendente da α	
L	Lunghezza	m	1000 mm	
M	Massa	kg [massa]	1000 g [m]	
M	Lavoro, momento	$kg_f \cdot m$	9,8066 J	9,8066 N·m
	Potenza	kW	1 $kg_f \cdot m/s$	1,3596 CV
MFR	Melt Flow Rate [10-2,16]÷[10,5]	g/10 min	Indice di fluidità per PE	
MRS	Minimum required strength (PE)	10·MPa	min.resist. richiesta ($\approx kg/cm^2$) per PE al lordo coeff.sicurezza	
p_o	Carico unitario del terreno	N/m, kN/m		
p_t	Carico statico	N/m, kN/m	traffico, manufatti	

SIMBOLO		UNITÀ DI MISURA	EQUIVALENZE / NOTE	SIMBOLO
P	Pressione - Tensione	kg_f/cm^2	98066 Pa	980,66 mbar
		kg_f/mm^2	9,8066 N/mm^2	98,066 bar
		N/m^2, (Pa)	1,0197 kg_f/m^2	$1{\cdot}10^{-5}$ bar
		bar	1,0197 kg_f/cm^2	10 N/cm^2
PN	Pressione Nominale	bar		
q	Peso unitario	kg_f /m	9,8066 N/m	
Q	Portata	m^3 / sec	3600 m^3 / ora	1000 l/s
r_e r_i r_m	Raggi esterno,interno,medio	m, mm		
R	Raggio di curvatura	m		
Re	Numero di Reynolds	----	Re= $v{\cdot}D_i$ / ν	
s	Spessore	m, mm	t [notazione anglosassone]	
SN	Rigidezza circonferenziale	kN/m^2	EN,ISO $E{\cdot}I$ / r_m^3	
SR	Rigidezza circonferenziale	kN/m^2	DIN $E \cdot I$ / $D_m^3 = 8 \cdot SN$	
t	Tempo	s	h = 3600 s	min = 60 s
T	Temperatura	°C	F = °C · 9/5 + 32	
v	Velocità	m/s		
V	Volume	m^3	1000 l	
Δx	Dilatazione lineare	m		
Δy, ΔD_i	Deformazione (valore assoluto)	m, mm		
y , $\Delta D_i D_i$	Deformazione (valore relativo)	%	[Δy / D_e]	
$[\ ]_{amm}$	indica che si utilizza il valore ammissibile (da progetto o da norma)			
$[\ ]_{24}$ $[\ ]_{50}$	Indici di tempo			
α	Semiangolo d'appoggio			
γ	Peso volumico (p/V)	kg_f /m^3	10^{-3} g_f /cm^3	9,8066 N/m^3
ρ	Massa volumica (densità, m/V)	kg/m^3	10^{-3} kg/cm^3	
ν	Viscosità cinematica	m^2 /s	cST = 10^{-4} m^2/s	
σ	Tensione (sigma)	N/mm^2	10,19716 kg_f/cm^2	
λ	Coefficiente di perdita di carico	----	(diagr. di Moody)	
μ	Coefficiente d'attrito tra materiale di riempimento e materiale indisturbato			
φ , ψ	Angolo d'attrito interno	°	rif. al materiale di riempimento	